



MSE-2: **Čebyševov filter typ 1 pásmový prieplust**

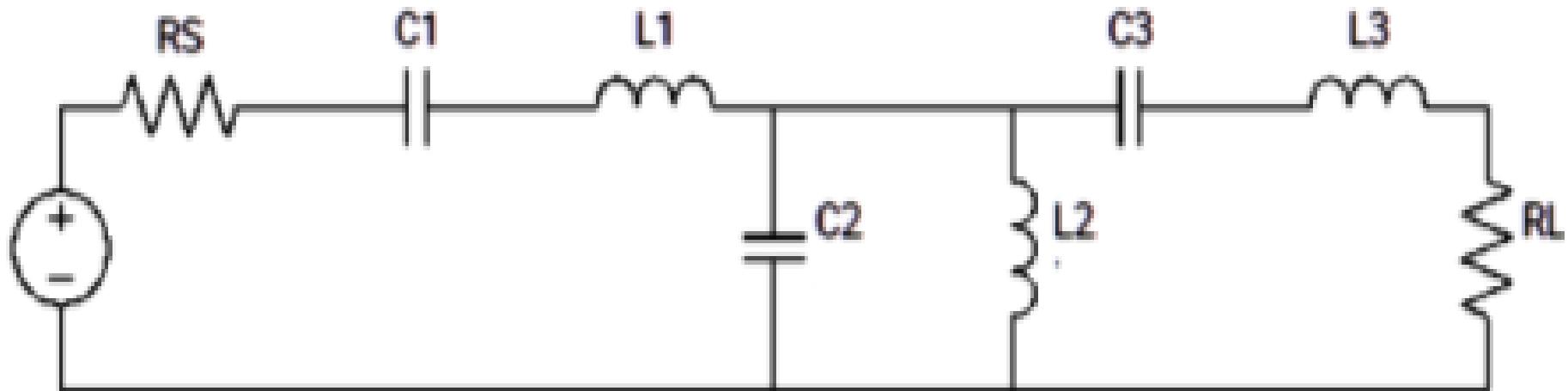
**Referát z predmetu
„Modelovanie a simulácie v elektrotechnike“**

Yevgenii Chernozub

3. roč. Bc. , LS 2022/23

Zadanie

- Našou úlohou je vytvoriť model tohto systému rôznymi spôsobmi, porovnať tieto modely.
- Odsimulovať a analyzovať jeho vlastnosti pomocou PrCh a LfCh. Navrhnuť parametre systému, pri ktorých sa najzreteľnejšie prejavia jeho vlastnosti.



Obsah

- 1. Zadanie**
- 2. Analýza, východiská riešenia a pod.**
- 3. Vlastné riešenie**
- 4. Výsledky riešenia**
- 5. Návrh a popis GUI**
- 6. Záver**

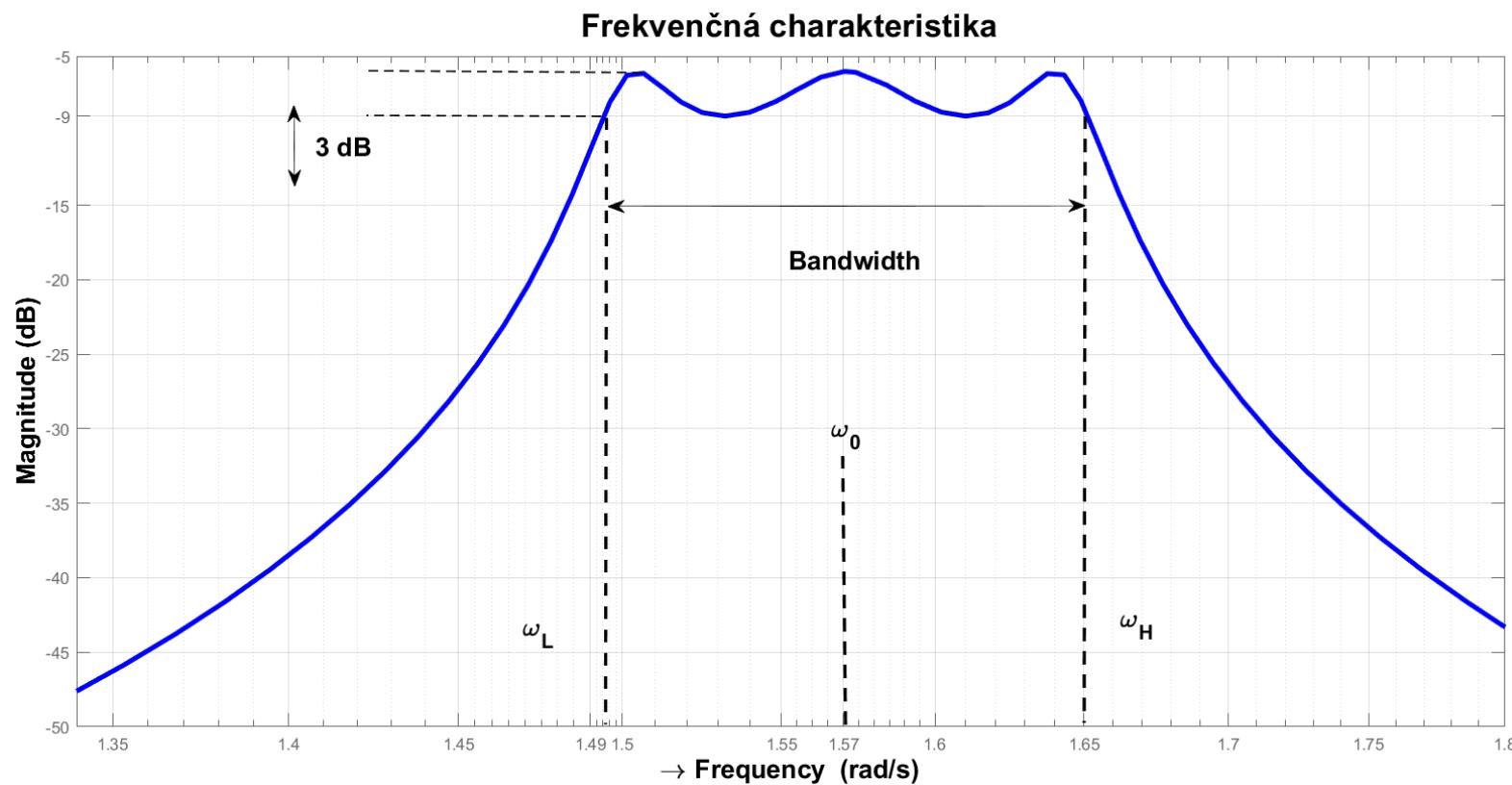
Riešenie

Náš systém budeme modelovať rôznymi spôsobmi, aby sme zistili výhody a nevýhody každej z metód, aby sme sa zistili či modely zostavujeme správne, aby sme náš systém analyzovali rôznymi spôsobmi.

- Matematický model (prenosová funkcia)
- Stavový popis
- Model systému v Simulinku
- Simulácia modelu pomocou programu Simscape.

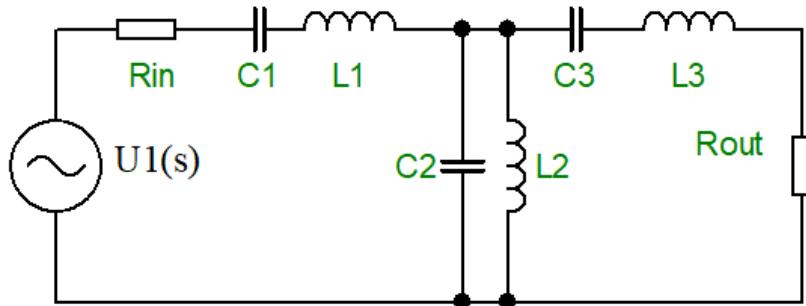
V celom našom riešení budeme používať simulačné prostredia: MATLAB, Simulink a Simscape.

Návrh parametrov Čebyševovho pásmového filtra



- f - frekvenciá stredu;
- $\omega_0 = 2\pi f$ - cyklická frekvencia kmitov;
- Δ - konštanta, ktorá udáva šírku pásma; šírka pásma(BW) = $\omega_0 \cdot \Delta$

Výpočet parametrov pre filter



Pre paralelné pripojenie komponentov:

$$L_i = \frac{R_0 \Delta}{g_i \omega_0}$$

$$C_i = \frac{g_i}{\omega_0 \Delta R_0}$$

do série:

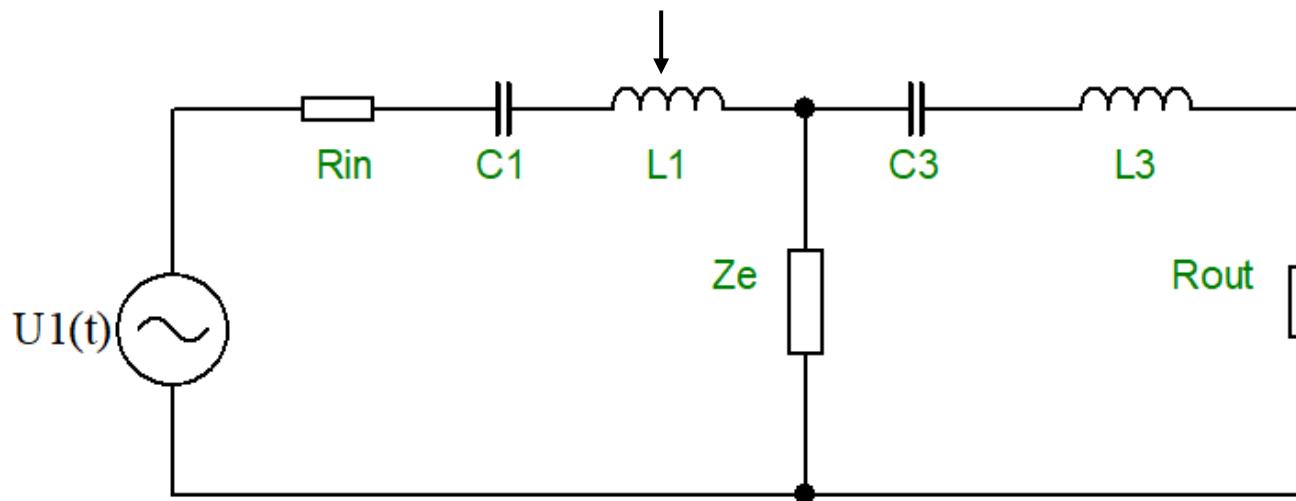
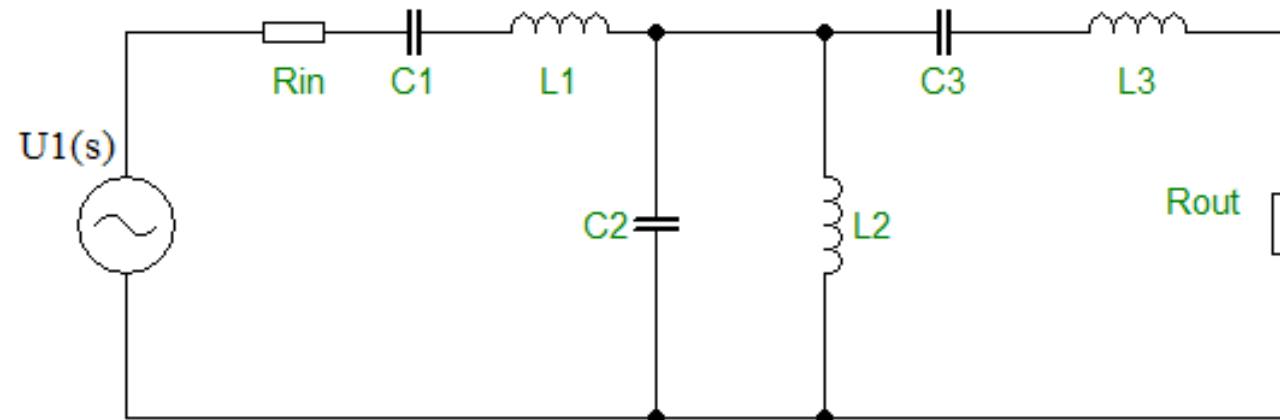
$$L_i = \frac{g_i R_0}{\omega_0 \Delta}$$

$$C_i = \frac{\Delta}{\omega_0 g_i R_0}$$

Order ripple	N=3		
	0,2 dB	1,0 dB	3,0 dB
g_1	1.22754	2.02359	3.34874
g_2	1.15254	0.99410	0.71170
g_3	1.22754	2.02359	3.34874

Matematický model

- Zjednodušenie obvodu:



$$Z_L = sL_2$$

$$Z_C = \frac{1}{sC_2}$$

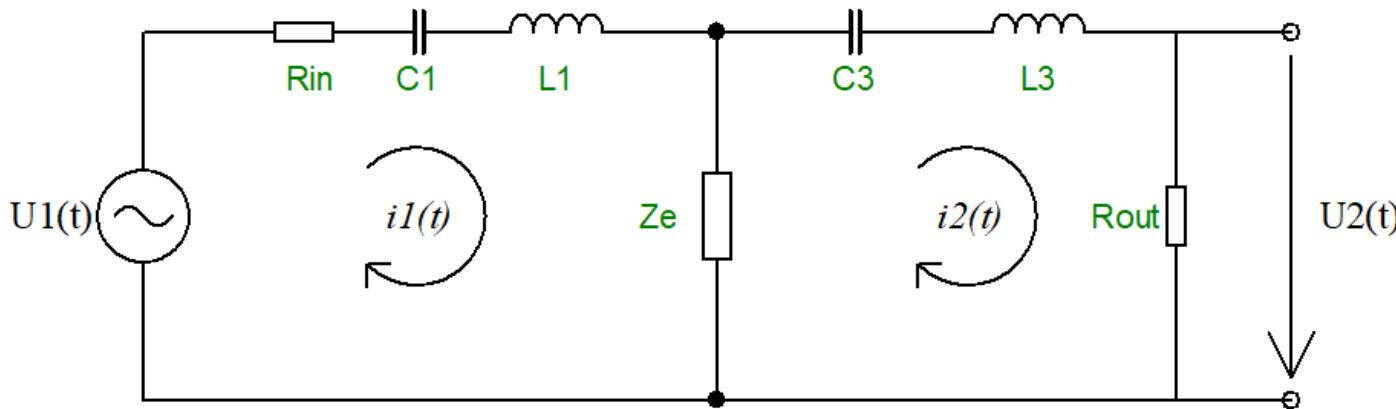
$$\frac{1}{Z_e} = \frac{1}{Z_C} + \frac{1}{Z_L}$$

$$\frac{1}{Z_e} = \frac{1}{sL_2} + \frac{1}{\frac{1}{sC_2}}$$

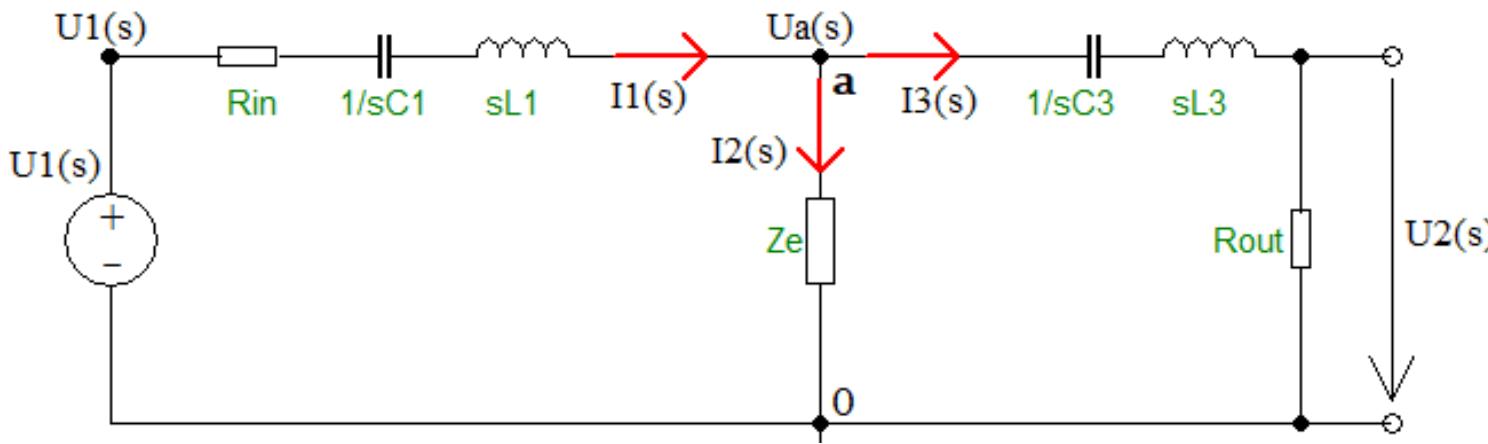
$$Z_e = \frac{sL_2}{1 + s^2L_2C_2}$$

Metódy analýzy obvodu

1. Metóda slučkových prúdov (MSP)

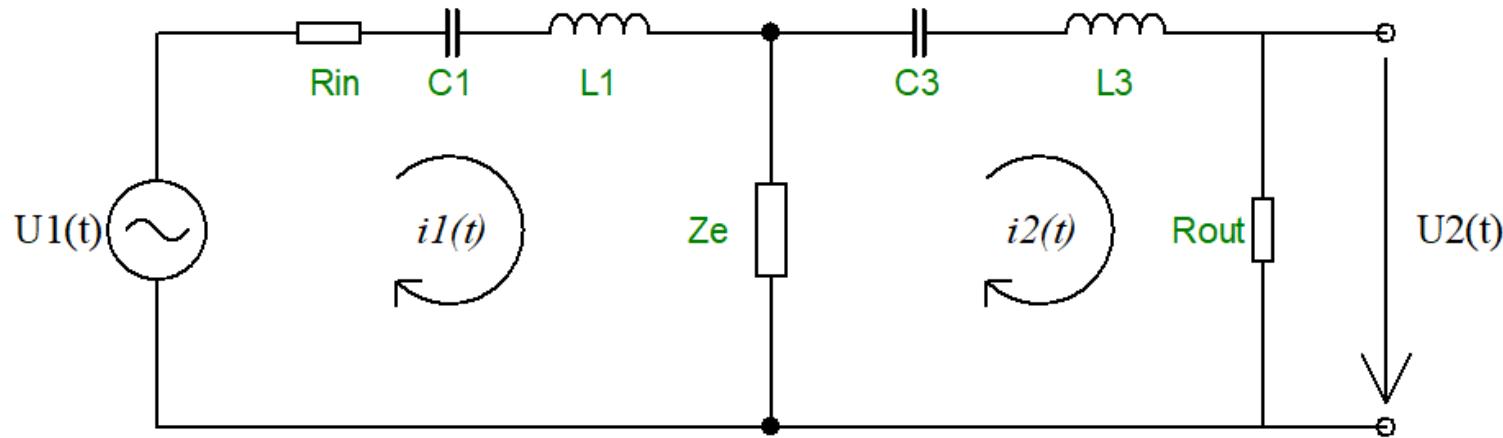


2. Metóda uzlových napäťí (MUN)



□ Postup:

- 1) Identifikácia slučiek;
- 2) Priradenie prúdov slučky;
- 3) Napísanie rovnic slučky;
- 4) Vyriešenie systému rovníc.



$$U_1(s) = \left(Z_e + R_{in} + \frac{1}{sC_1} + sL_1 \right) I_1(s) - Z_e I_2(s)$$

$$0 = -Z_e I_1(s) - \left(Z_e + R_{out} + \frac{1}{sC_3} + sL_3 \right) I_2(s)$$

Riešenie sústavy rovníc

- Hľadanie neznámych prúdov pomocou Cramerovho pravidla

$$\begin{bmatrix} Z_e + R_{in} + \frac{1}{sC_1} + sL_1 & -Z_e \\ -Z_e & Z_e + R_{out} + \frac{1}{sC_3} + sL_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1(s) \\ I_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1(s) \\ 0 \end{bmatrix}$$
$$I_2(s) = \frac{\det \begin{bmatrix} Z_e + R_{in} + \frac{1}{sC_1} + sL_1 & U_1(s) \\ -Z_e & 0 \end{bmatrix}}{\det \begin{bmatrix} Z_e + R_{in} + \frac{1}{sC_1} + sL_1 & -Z_e \\ -Z_e & Z_e + R_{out} + \frac{1}{sC_3} + sL_3 \end{bmatrix}}$$

Substitúcia do prechodovej funkcie

- Na základe Ohmovho zákona:

$$U_2(s) = R_{out}I_2(s)$$

$$I_2(s) = \frac{Z_e U_1(s)}{detZ}$$

$$detZ = \left(Z_e + R_{in} + \frac{1}{sC_1} + sL_1 \right) \left(Z_e + R_{out} + \frac{1}{sC_3} + sL_3 \right) - (Z_e)^2$$

$$F(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)}$$

- Substitúcia a výpočet prechodovej funkcie sa urobí v symbolickom MATLABE.
-

Prenosová funkcia

□ $F = \frac{c_0 s^3}{a_0 s^6 + a_1 s^5 + a_2 s^4 + a_3 s^3 + a_4 s^2 + a_5 s + a_6}$

kde:

$$c_0 = C_1 C_3 L_2 R_l$$

$$a_0 = C_1 C_2 C_3 L_1 L_2 L_3$$

$$a_1 = C_1 C_2 C_3 L_1 L_2 R_l + C_1 C_2 C_3 L_2 L_3 R_{in}$$

$$a_2 = C_1 C_2 L_2 L_1 + C_1 C_3 L_2 L_1 + C_1 C_3 L_3 L_1 + C_1 C_3 L_2 L_3 + C_3 C_2 L_2 L_3 + C_1 C_2 C_3 L_2 R_{in} R_l$$

$$a_3 = C_1 C_3 L_1 R_l + C_1 C_3 L_1 R_l + C_2 C_3 L_2 R_l + C_1 C_2 L_2 R_{in} + C_1 C_3 R_{in} L_2 + C_1 C_3 R_{in} L_3$$

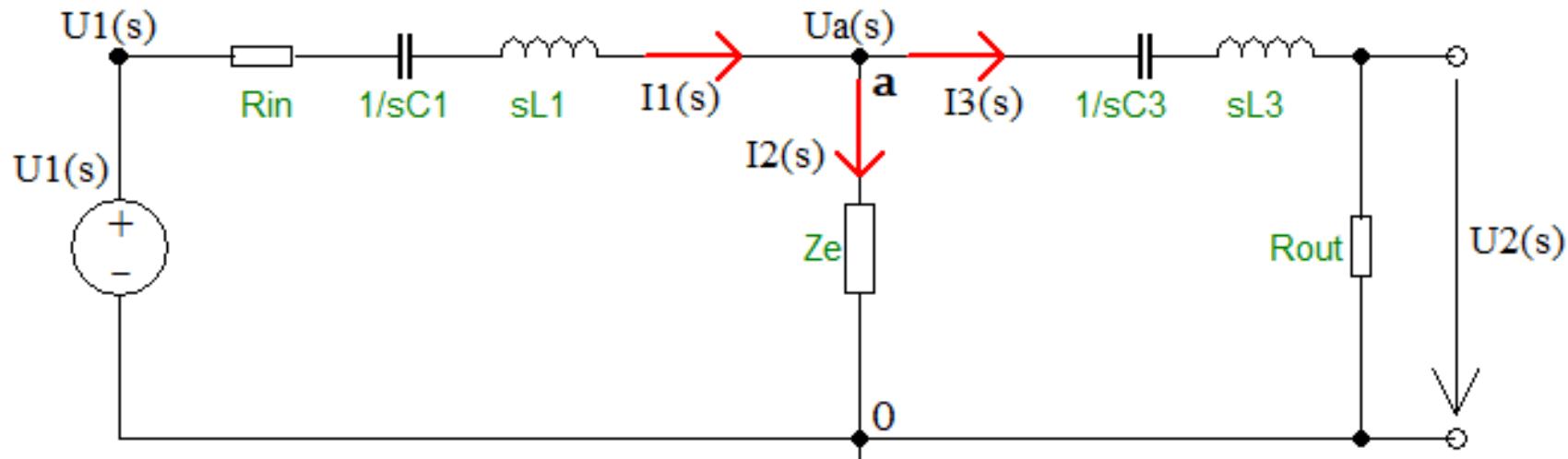
$$a_4 = C_1 L_1 + C_1 L_2 + L_2 C_2 + C_3 L_2 + C_3 L_3 + C_1 C_3 R_{in} R_l$$

$$a_5 = C_3 R_l + C_1 R_{in}$$

$$a_6 = k$$

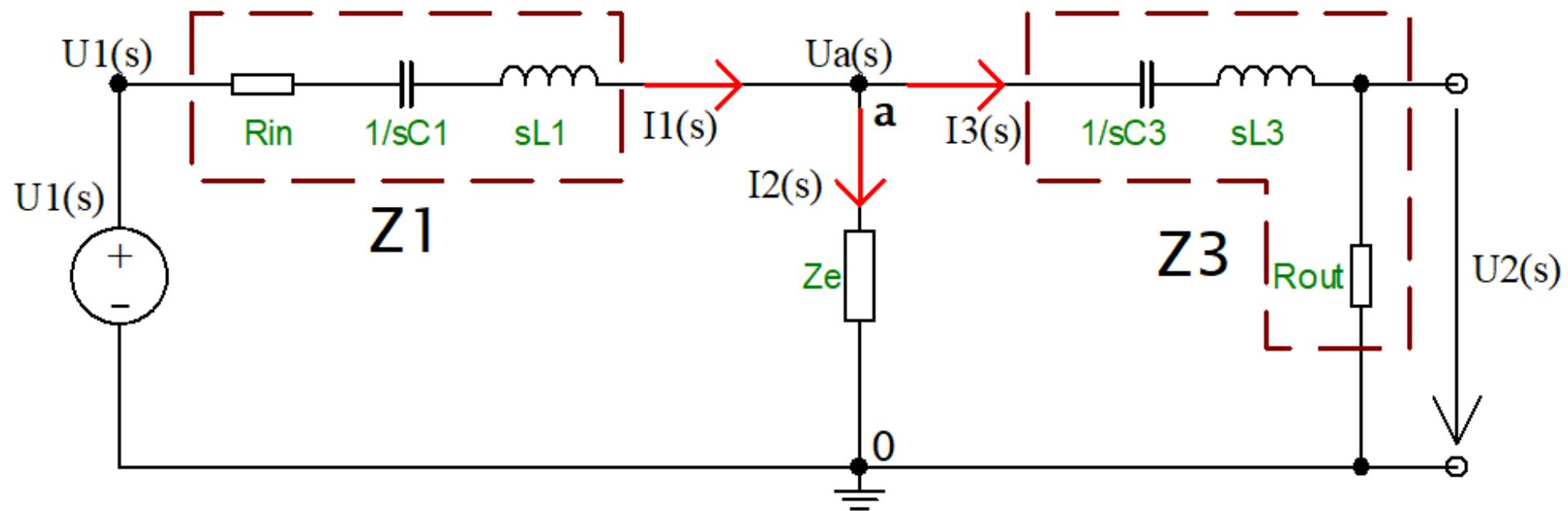
□ Postup:

- 1) Identifikácia uzlov;
- 2) Priradenie napäti uzlov;
- 3) Napísanie rovnic KCL;
- 4) Vyriešenie systému rovnič.



Náhrada za alternatívne odpory

$$\square Z_1 = R_{in} + sL_1 + \frac{1}{sC_1} \longrightarrow \square Z_1 = \frac{s^2 L_1 C_1 + s R_{in} C_1 + 1}{s C_1}$$
$$\square Z_3 = R_{out} + sL_3 + \frac{1}{sC_3} \longrightarrow \square Z_3 = \frac{s^2 L_3 C_3 + s R_{out} C_3 + 1}{s C_3}$$



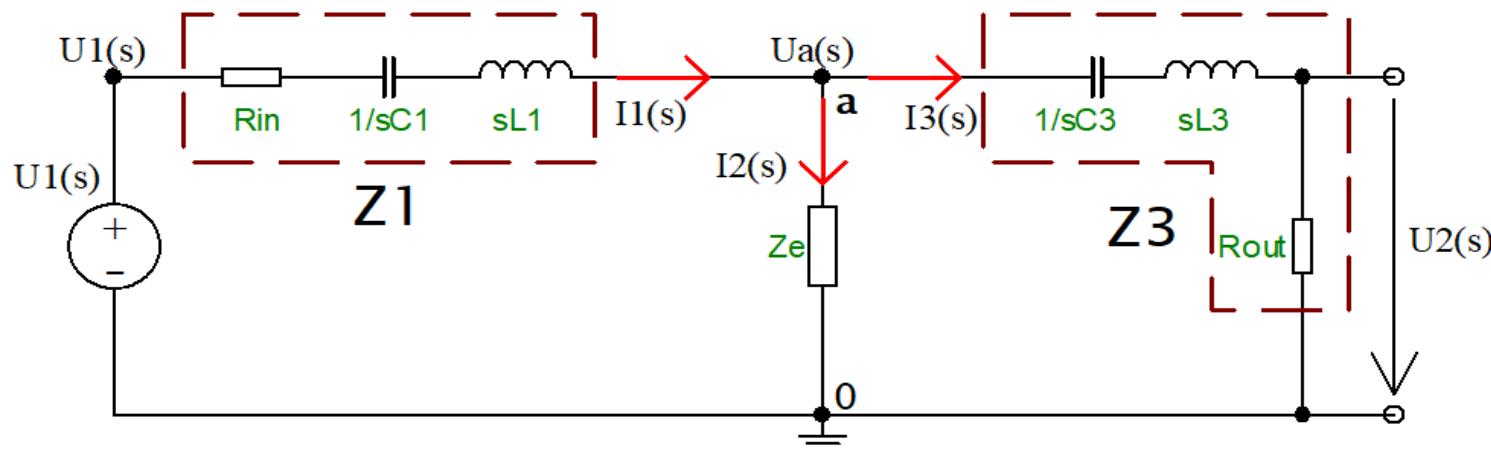
Zápis rovníc pre uzol "a"

□ Zapíšme si pre "a" prvý Kirchhoffov zákon:

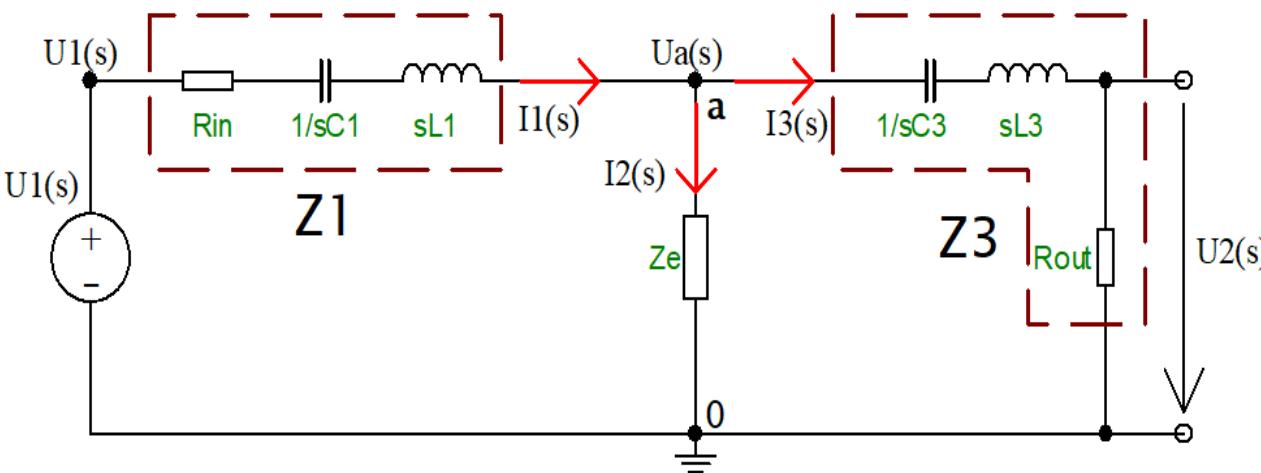
$I_1(s) - I_2(s) - I_3(s) = 0$. Nech je napätie v uzle A rovné $U_a(s)$. Každý prúd rovnice zapíšme podľa Ohmovho zákona ($I = \frac{U}{R}$):

$$\frac{U_1(s) - U_a(s)}{Z_1} - \frac{U_a(s)}{Z_e} - \frac{U_a(s)}{Z_3} = 0. \text{ Po úprave dostaneme:}$$

$$U_a(s) = \frac{U_1(s) Z_e Z_3}{Z_e Z_3 + Z_1 Z_3 + Z_e Z_1}$$



Vyjadrenie napäťia $U_2(s)$ a výpočet prenosu



$$U_2(s) = R_{out} I_3(s)$$

$$I_3(s) = \frac{U_a(s)}{Z_3}$$

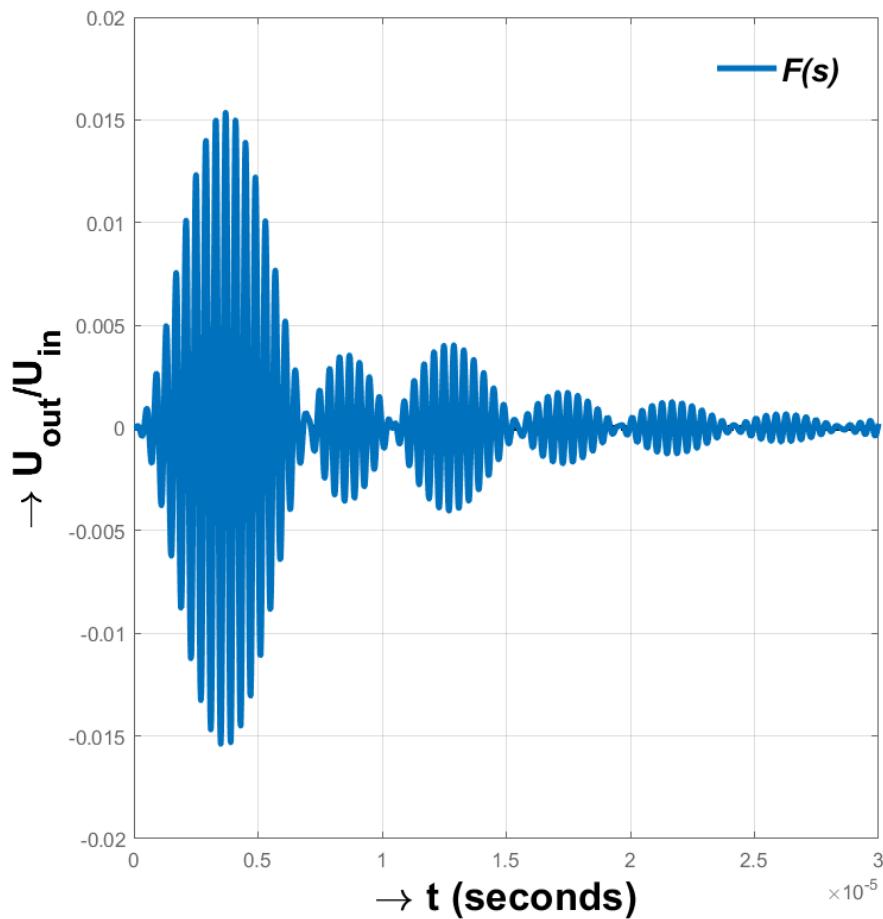
$$U_2(s) = \frac{U_a(s) R_{out}}{Z_3}$$

po dosadení $U_a(s)$: $U_2(s) = \frac{U_1(s) Z_e Z_3}{Z_e Z_3 + Z_1 Z_3 + Z_e Z_1} * \frac{R_{out}}{Z_3}$

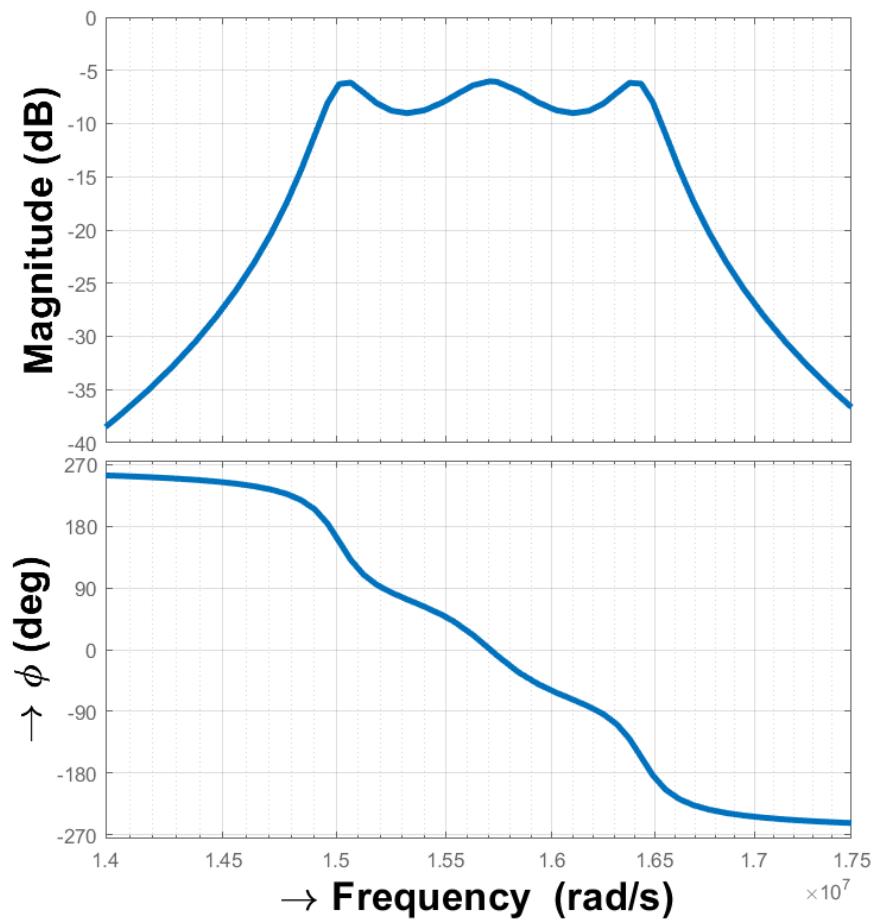
$$F(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} \rightarrow F = \frac{Z_e R_{out}}{Z_e Z_3 + Z_1 Z_3 + Z_e Z_1}$$

Priebehy PrCh a LFCh

Prechodová charakteristika

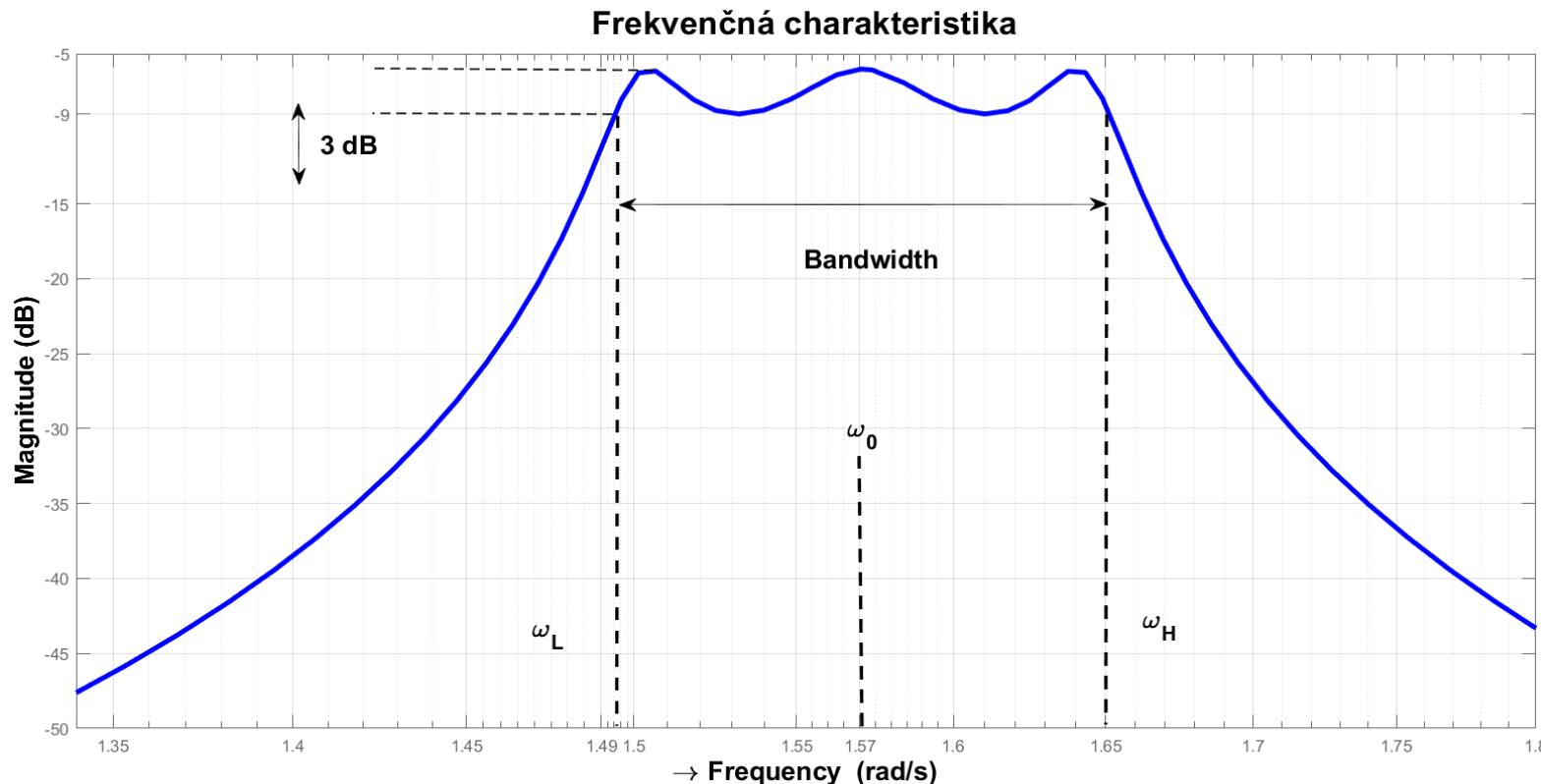


Frekvenčná charakteristika



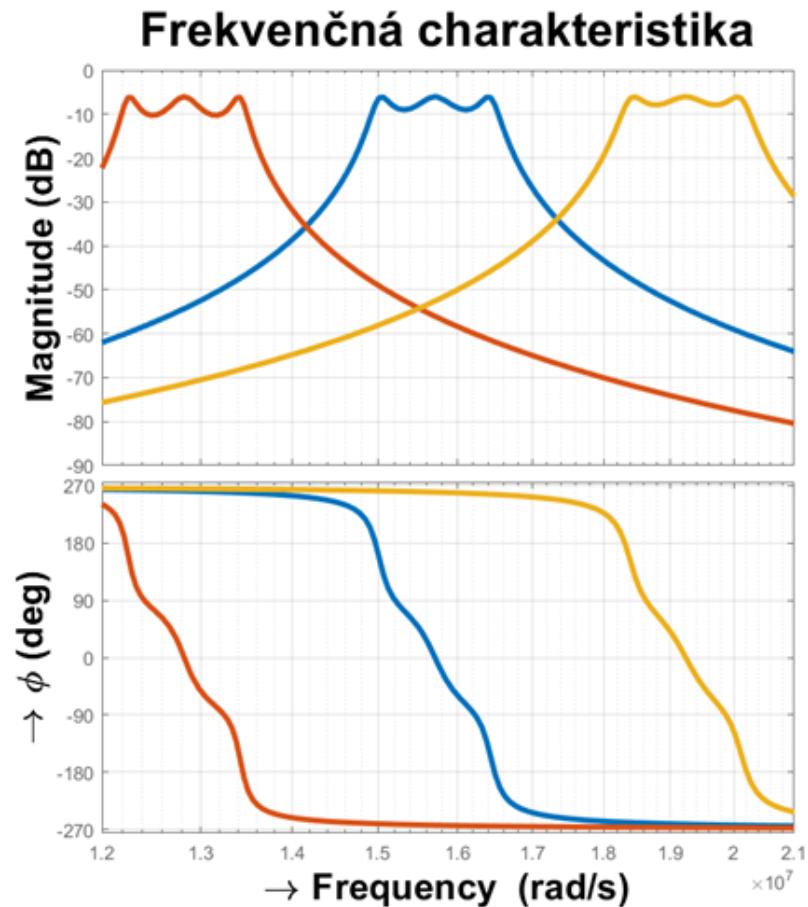
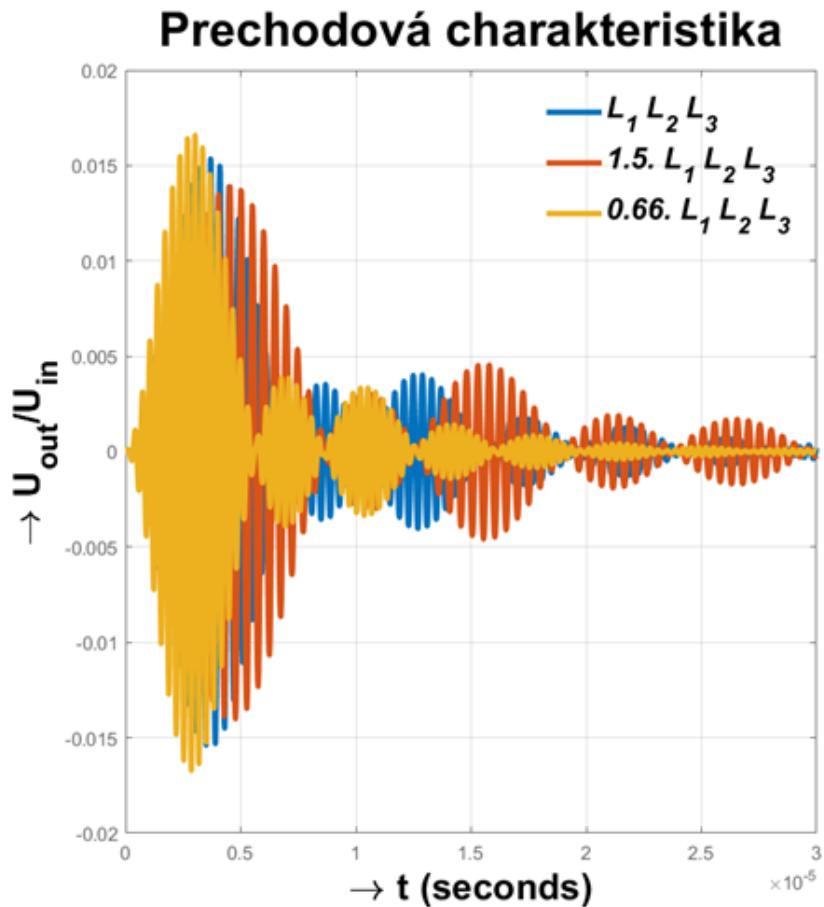
Parametre filtra

- Mame LFCh, ktorá zodpovedá našim požiadovaným parametrom: frekvencia stredu $\omega_0 = 1,57 \cdot 10^5 \text{ rad.s}^{-1}$, šírka priepustného pásma (bandwidth) $BW = \omega_0 \cdot \Delta$, kde $\Delta = 10\%$, parameter, ktorý sme tiež vybrali a zvlnenie (ripple factor) 3dB.



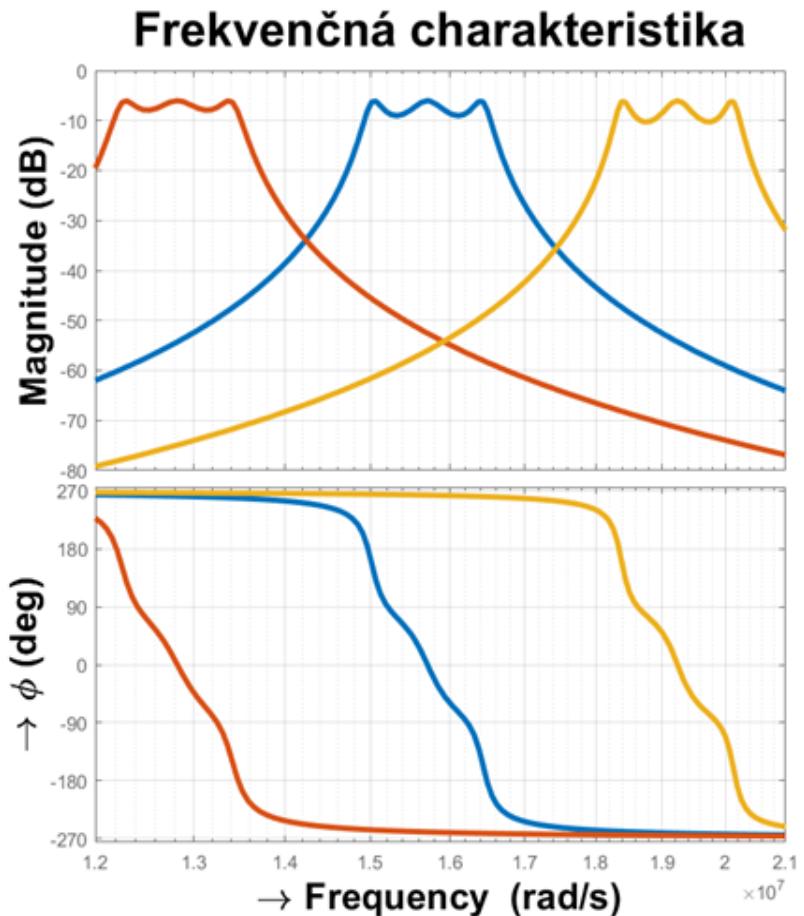
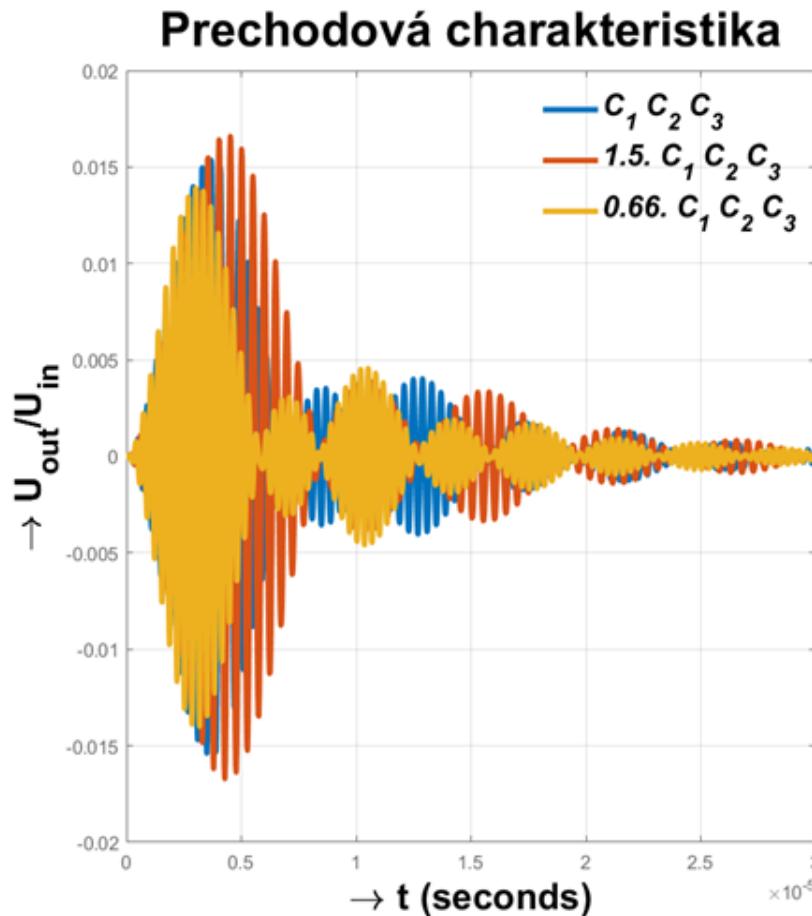
Zmena parametrov filtra

- Priebehy PrCh a LFCh pri zmene parametrov L_1 , L_2 a L_3



Zmena parametrov filtra

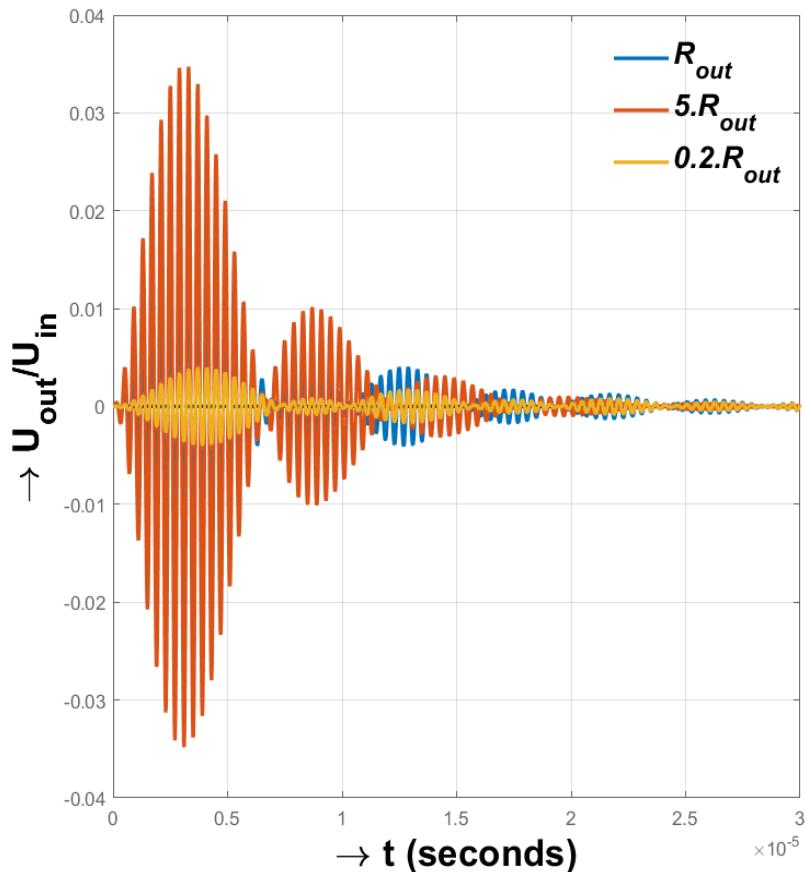
- Priebehy PrCh a LFCh pri zmene parametrov C_1 , C_2 a C_3



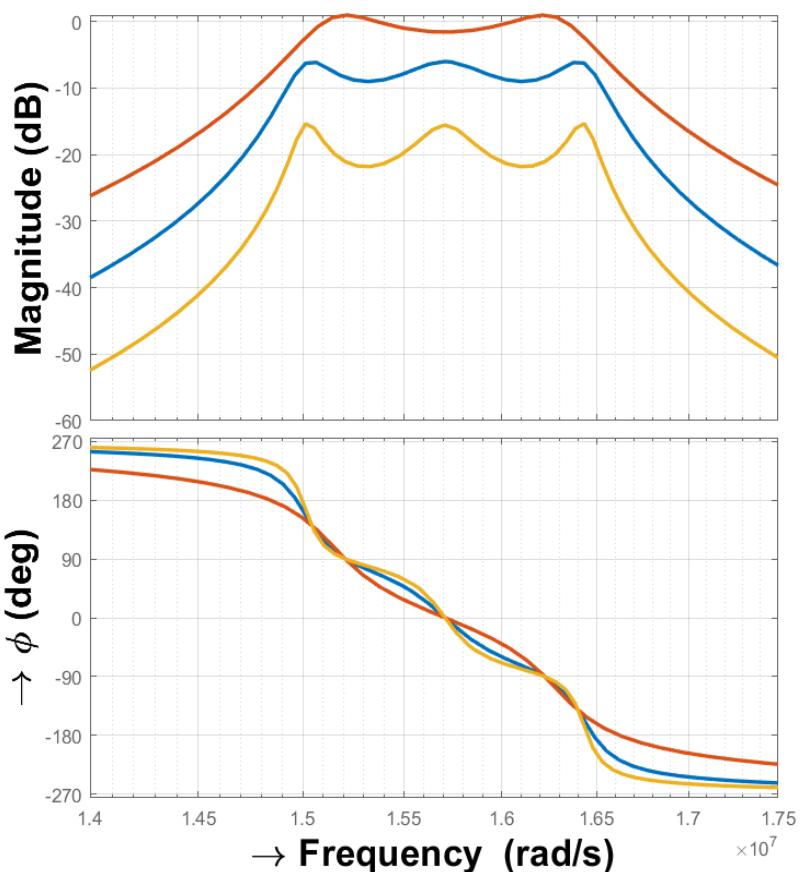
Zmena parametrov filtra

- Priebehy PrCh a LFCh pri zmene parametra R_{out}

Prechodová charakteristika

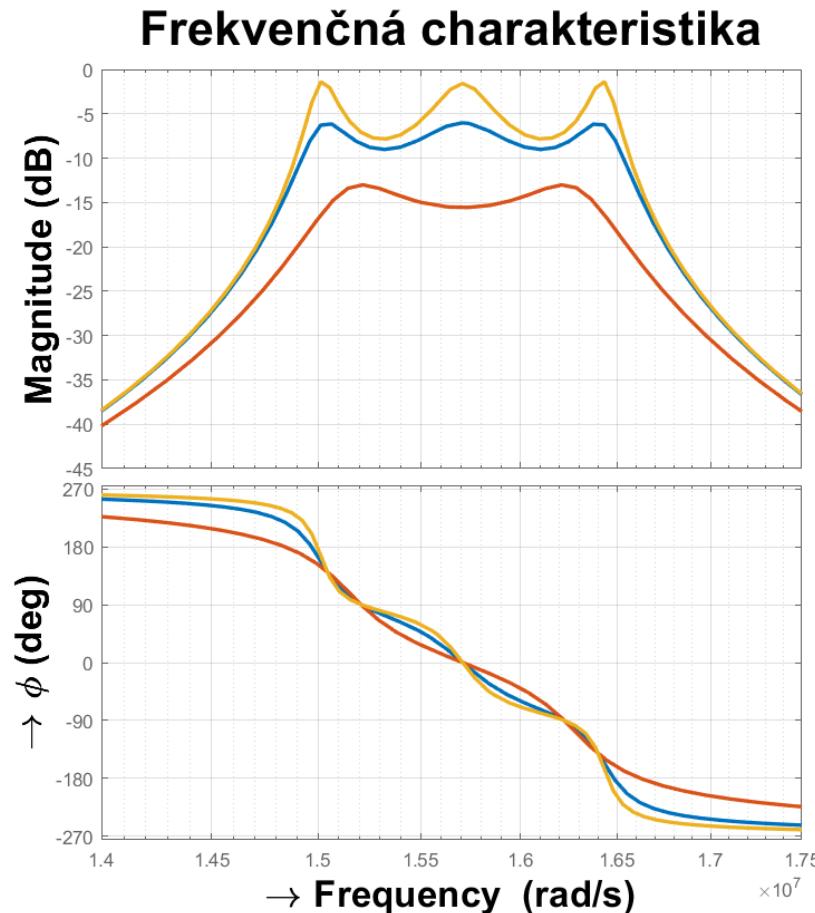
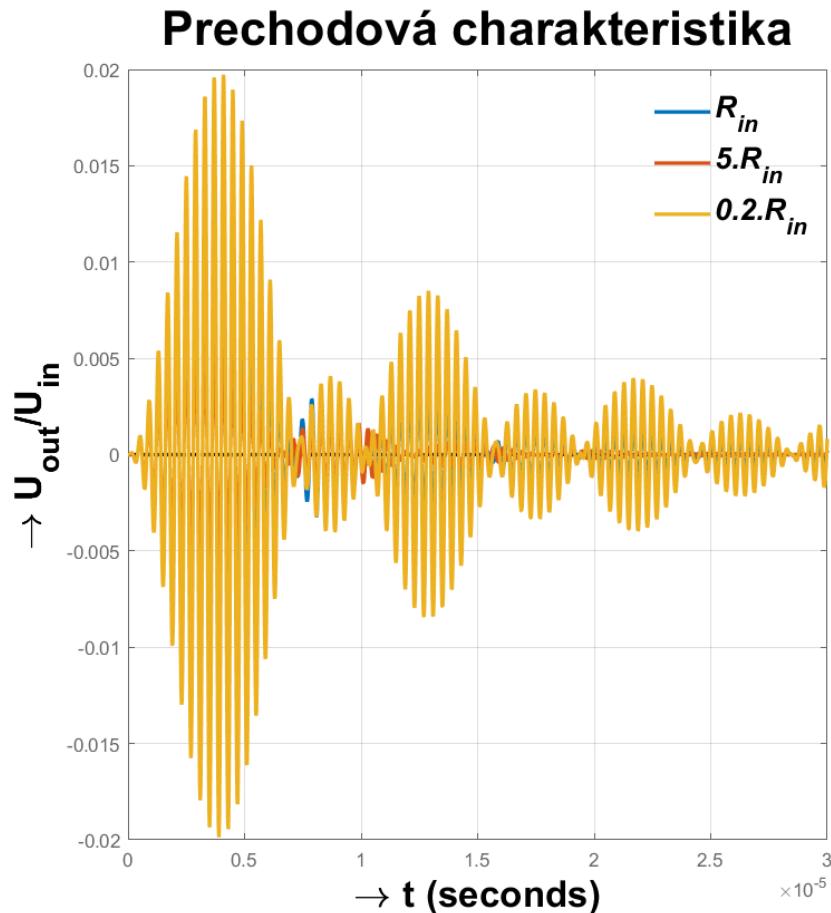


Frekvenčná charakteristika



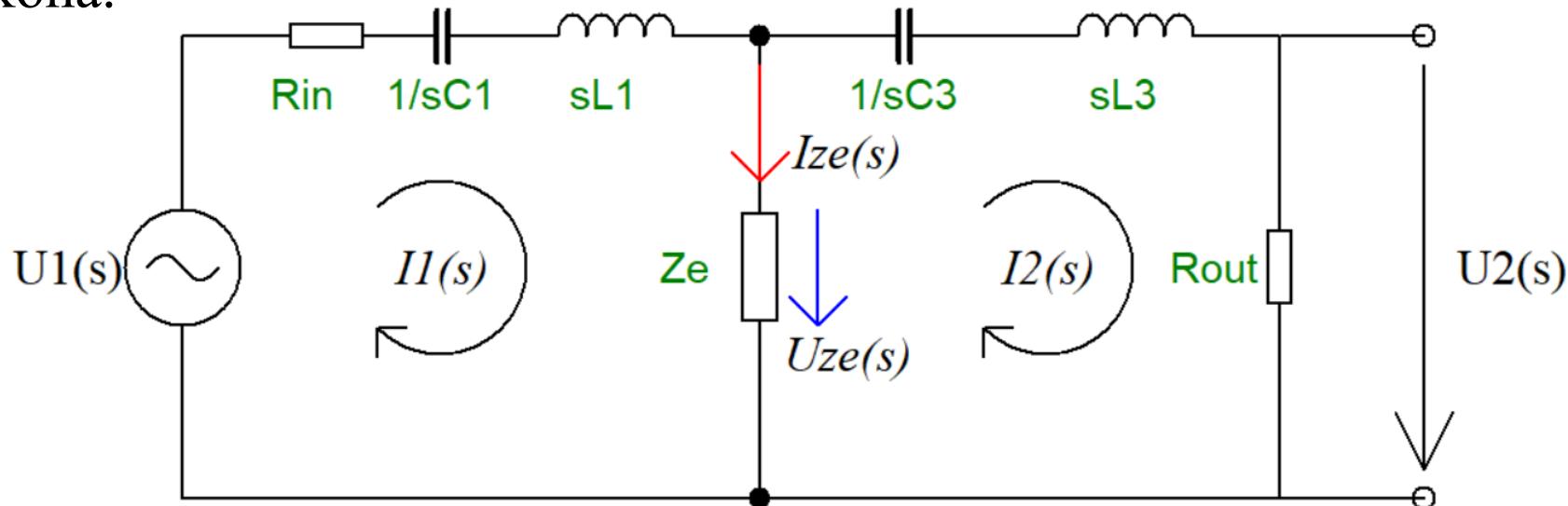
Zmena parametrov filtra

- Priebehy PrCh a LFCh pri zmene parametra R_{in}



Model v Simulink

- Bloková schéma v Simulinku bude zostavená pomocou diferenciálnych rovníc, ktoré odvodíme z I. a II. Kirchhoffovho zákona.

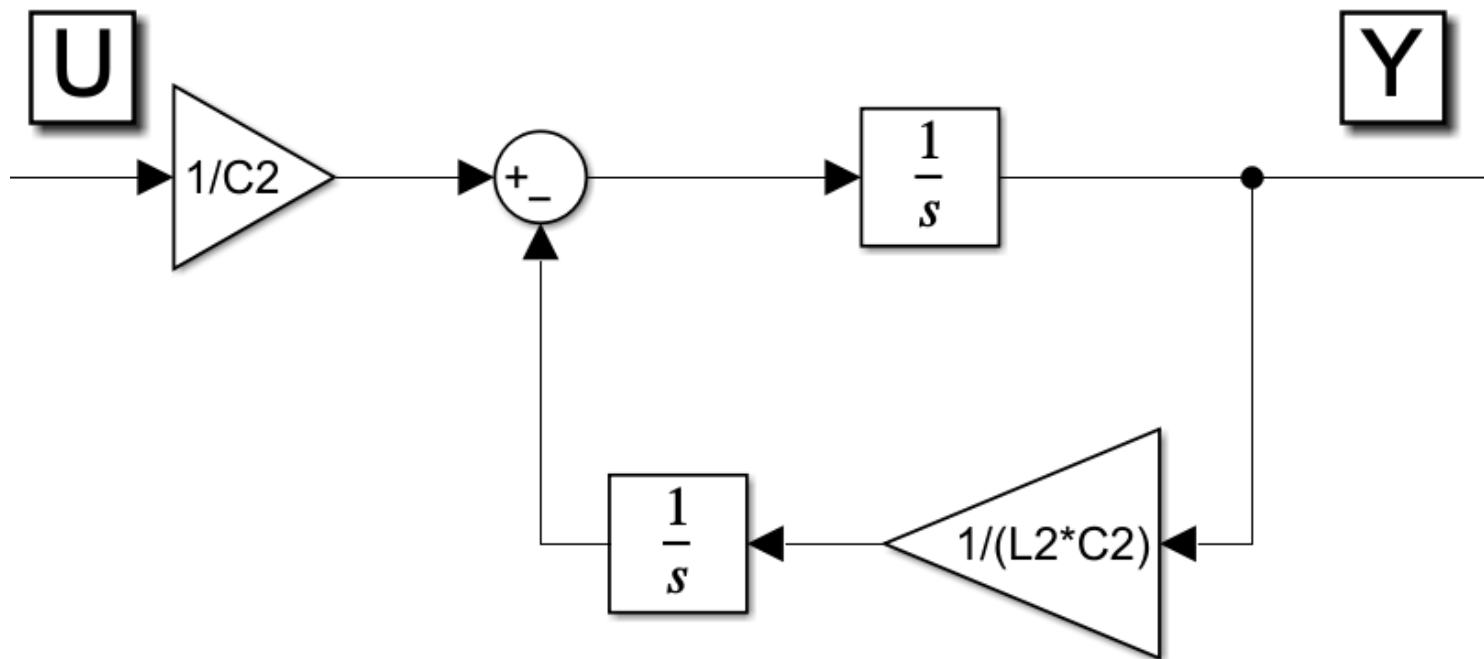


- **Slučka 1:** $0 = \left(R_{in} + \frac{1}{C_1 s} + L_1 s \right) I_1(s) + U_{Ze} - U_i(s)$
- **Slučka 2:** $0 = \left(R_{out} + \frac{1}{C_3 s} + L_3 s \right) I_2(s) - U_{Ze}(s)$
- **Uzol A:** $0 = I_1(s) - I_2(s) - I_{Ze}(s)$

Model v Simulink

- ☐ Rozpočet zjednodušenej impadancie do blokovej schémy:

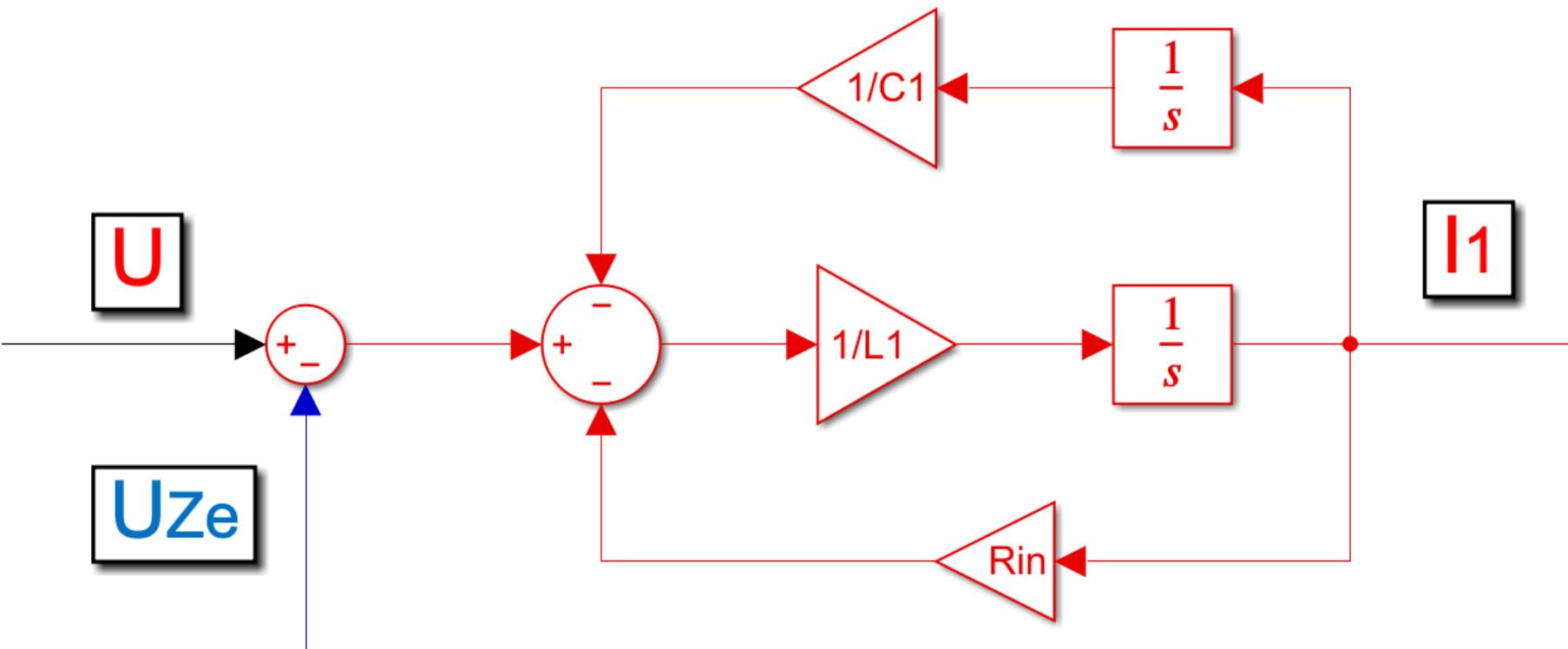
$$Z_e = \frac{L_2 s}{1 + L_2 C_2 s^2} = \frac{Y}{U} \rightarrow Y = \frac{1}{s} \left(\frac{U}{C_2} - \frac{Y}{s L_2 C_2} \right)$$



Model v Simulink

- ☐ Rovnica pre prvú slučku:

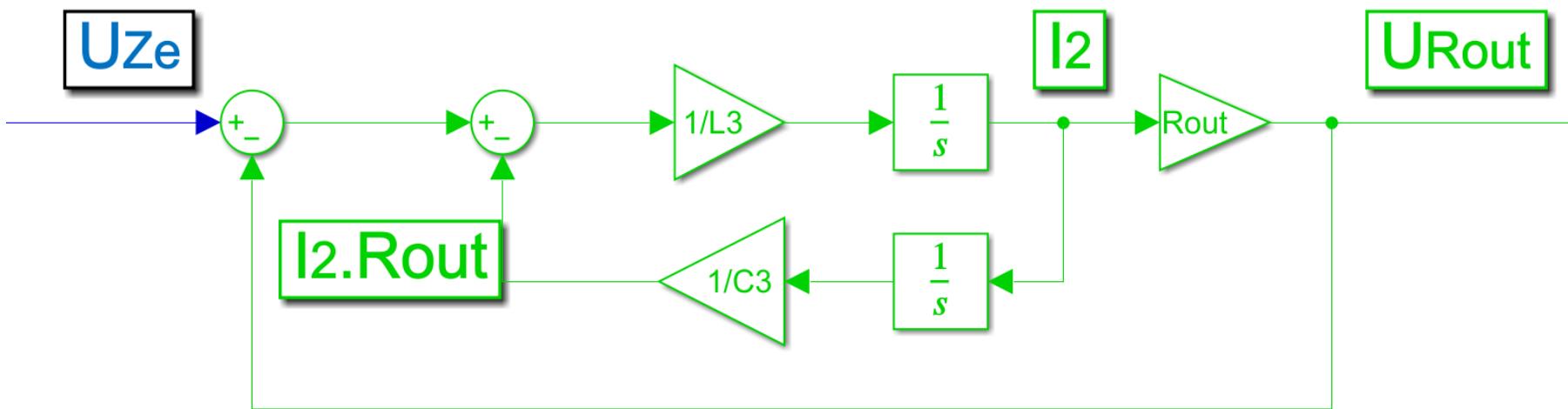
$$U_i(s) = \left(R_{in} + \frac{1}{C_1 s} + L_1 s \right) I_1(s) + U_{Ze} \rightarrow I_1(s) = \frac{U(s) - U_{Ze}(s)}{R_{in} + L_1 s + \frac{1}{C_1 s}}$$



Model v Simulink

- ☐ Rovnica pre druhu slučku:

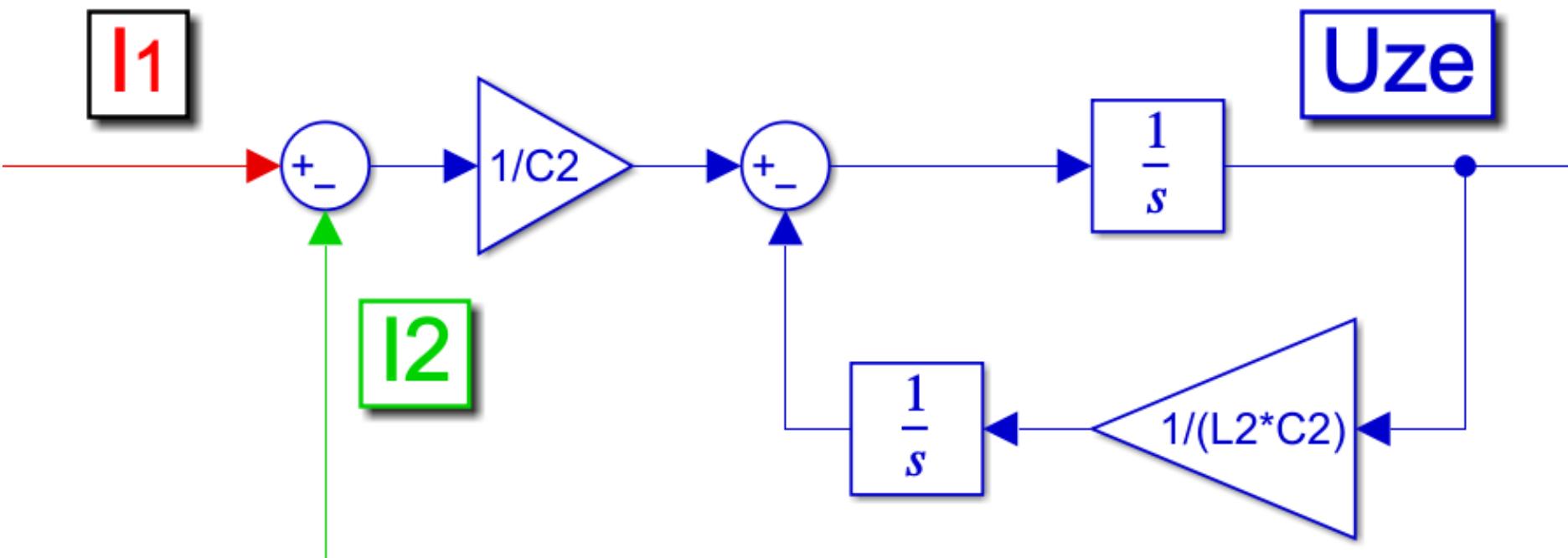
$$U_{Ze}(s) = \left(R_{out} + \frac{1}{C_3 s} + L_3 s \right) I_2(s) \rightarrow I_2(s) = \frac{U_{Ze}(s) - R_{out} I_2(s)}{L_3 s + \frac{1}{C_3 s}}$$



Model v Simulink

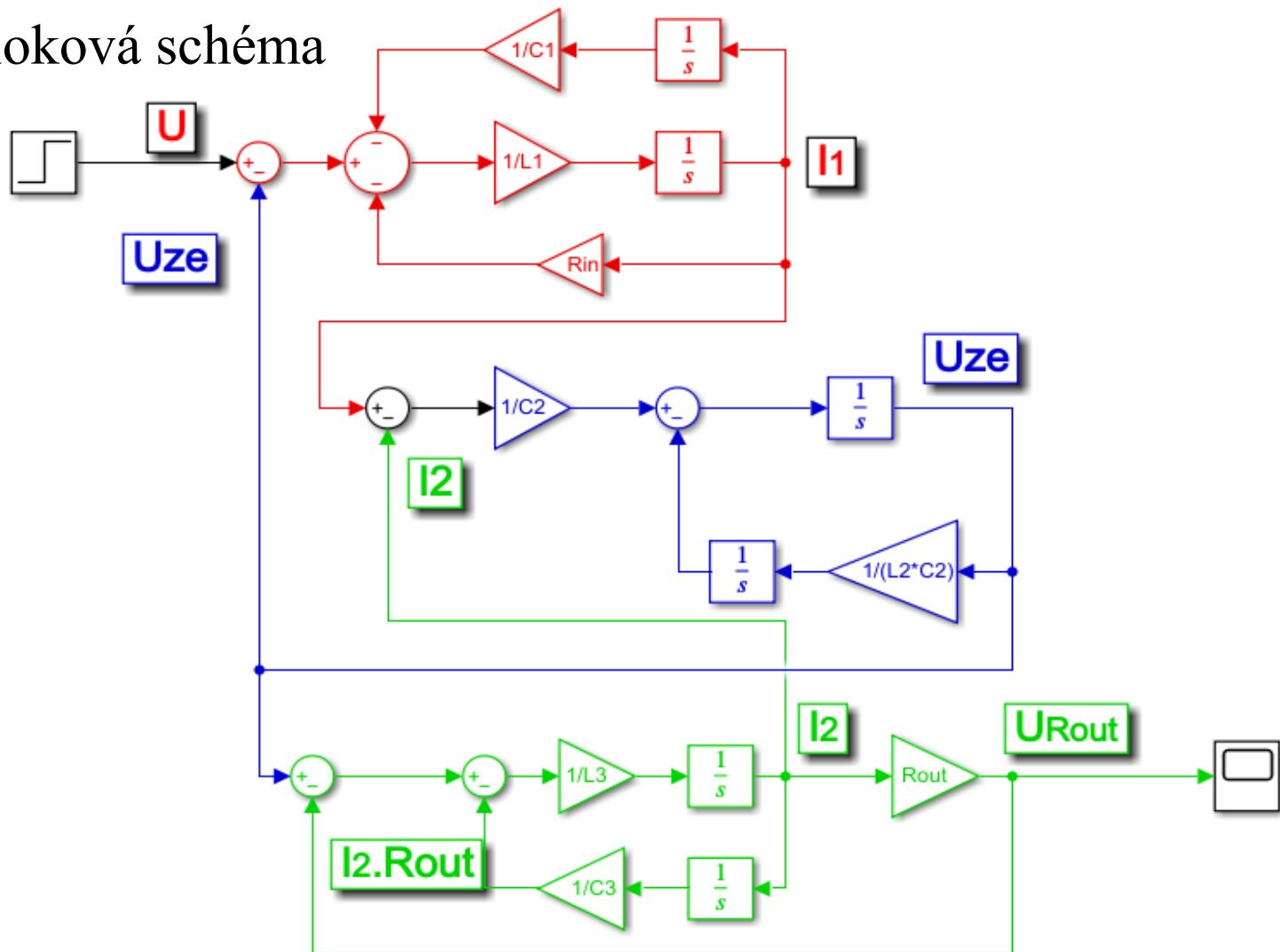
☐ Rovnica pre uzol A:

$$I_{Ze}(s) = I_1(s) - I_2(s) = \frac{U_{Ze}}{Z_e} \rightarrow U_{Ze}(s) = (I_1(s) - I_2(s))Z_e$$



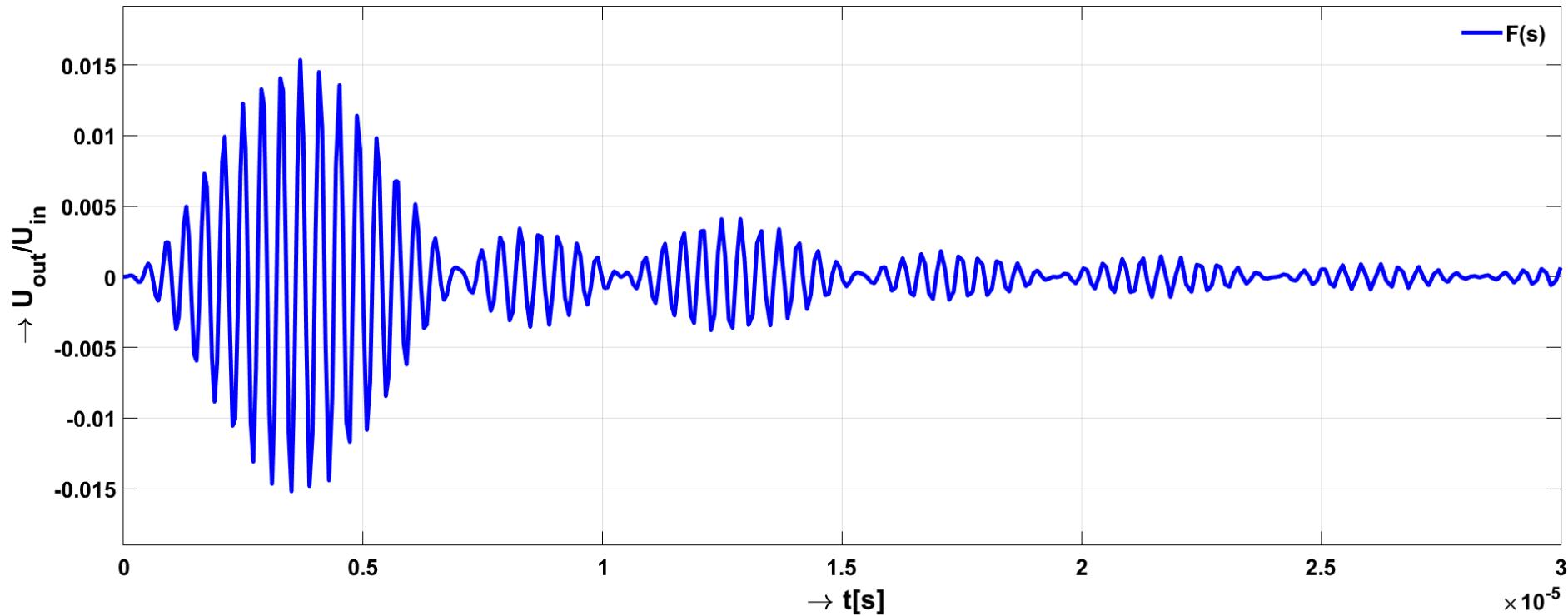
Model v Simulink

- Výsledná bloková schéma



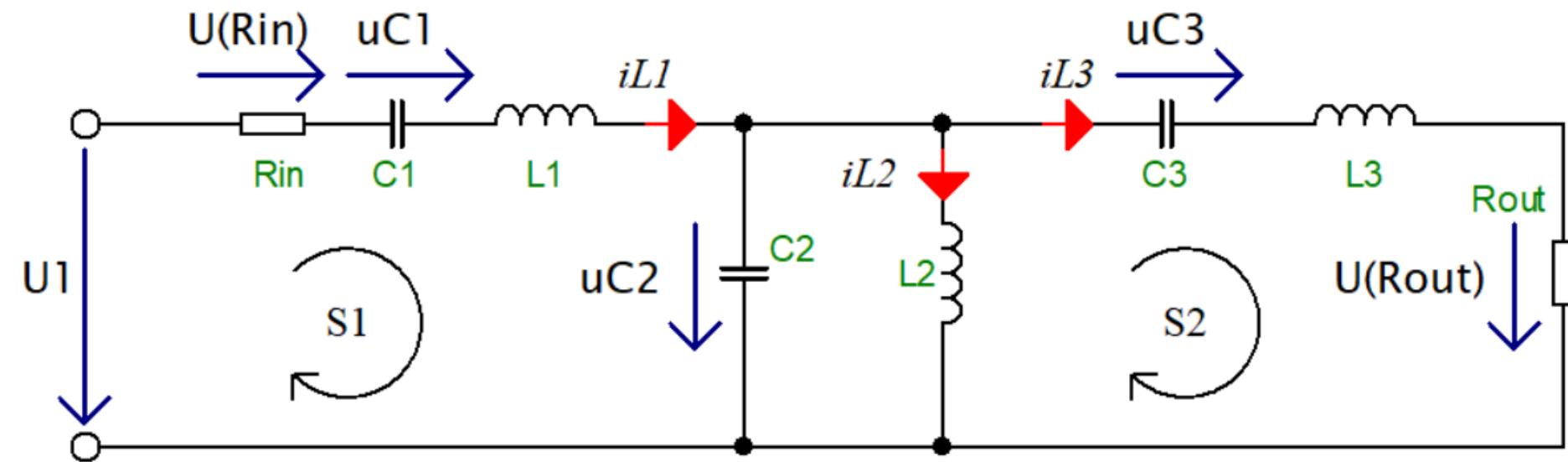
Odozvá z Simulinku

Prechodová charakteristika

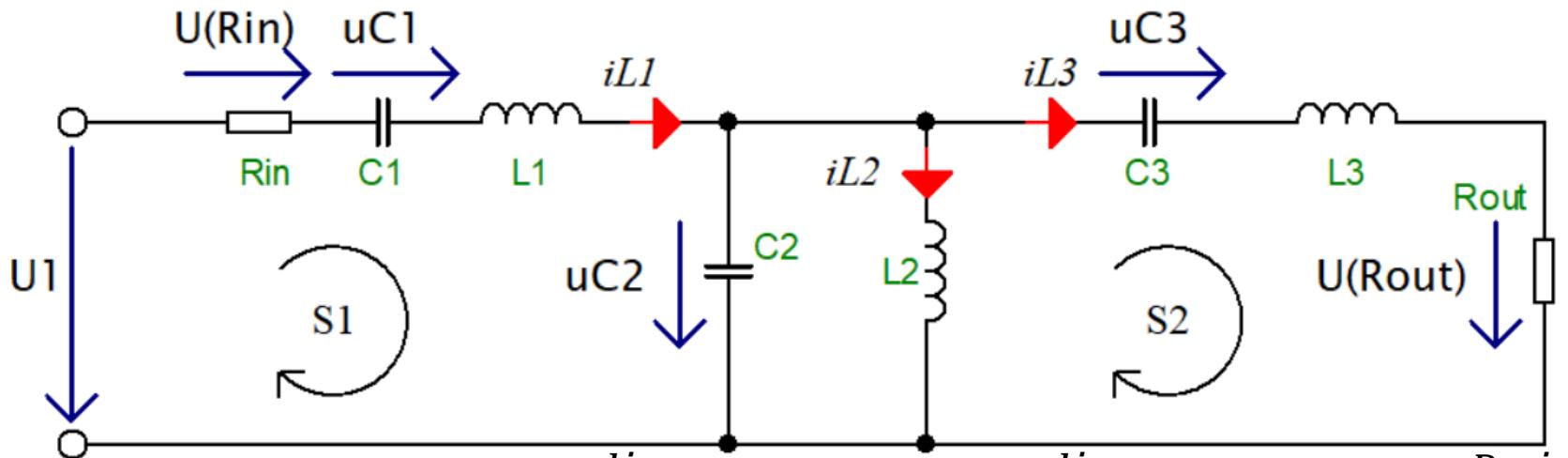


Odvodenie stavového modelu systému

- Stavovými veličinami sú tu prúd indukčnosťou i_L ($u_L = L \frac{di_L}{dt}$), a napätie na kondenzátore u_C ($i_C = C \frac{duc}{dt}$). Stavový model nášho systému odvodíme z diferenciálnych rovníc I a II KZ a na základných vlastnosti elektrického obvodu. Všetky stavové veličiny majú fyzikálny význam.



Odvodenie stavového modelu systému



$$S1: -u_i + R_{in}i_{L1} + u_{C1} + L_1 \frac{di_{L1}}{dt} + u_2 = 0 \rightarrow \frac{di_{L1}}{dt} = \frac{u - u_{C1} - u_{C2} - R_{in}i_{L1}}{L_1}$$

$$S2: -u_{C2} + R_{out}i_{L3} + u_{C3} + L_3 \frac{di_{L3}}{dt} = 0 \rightarrow \frac{di_{L3}}{dt} = \frac{u_{C2} - u_{C3} - R_{out}i_{L3}}{L_3}$$

$$A: i_{L1} - i_{L2} - i_{L3} - C_2 \frac{du_{C2}}{dt} = 0 \rightarrow \frac{du_{C2}}{dt} = \frac{i_{L1} - i_{L2} - i_{L3}}{C_2}$$

$$\text{Prúdy vo vетvach: } C_1 \frac{du_{C1}}{dt} = i_{L1}, C_3 \frac{du_{C3}}{dt} = i_{L3} \rightarrow \frac{du_{C1}}{dt} = \frac{i_{L1}}{C_1}, \frac{du_{C3}}{dt} = \frac{i_{L3}}{C_3}$$

$$\text{Napätie vo vетvach: } L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = u_{C2} \rightarrow \frac{di_{L2}}{dt} = \frac{u_{C2}}{L_2}$$

Odvodenie stavového modelu systému

- Prepišeme rovnice do matice stavového popisu:

$$\begin{bmatrix} sI_{L1} \\ sI_{L2} \\ sI_{L3} \\ sU_{C1} \\ sU_{C2} \\ sU_{C3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_{in}}{L_1} & 0 & 0 & -\frac{1}{L_1} & -\frac{1}{L_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{L_2} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{R_{out}}{L_3} & 0 & \frac{1}{L_3} & \frac{1}{L_3} \\ \frac{1}{C_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{C_2} & -\frac{1}{C_2} & -\frac{1}{C_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{C_3} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \\ U_{C1} \\ U_{C2} \\ U_{C3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot U_i$$

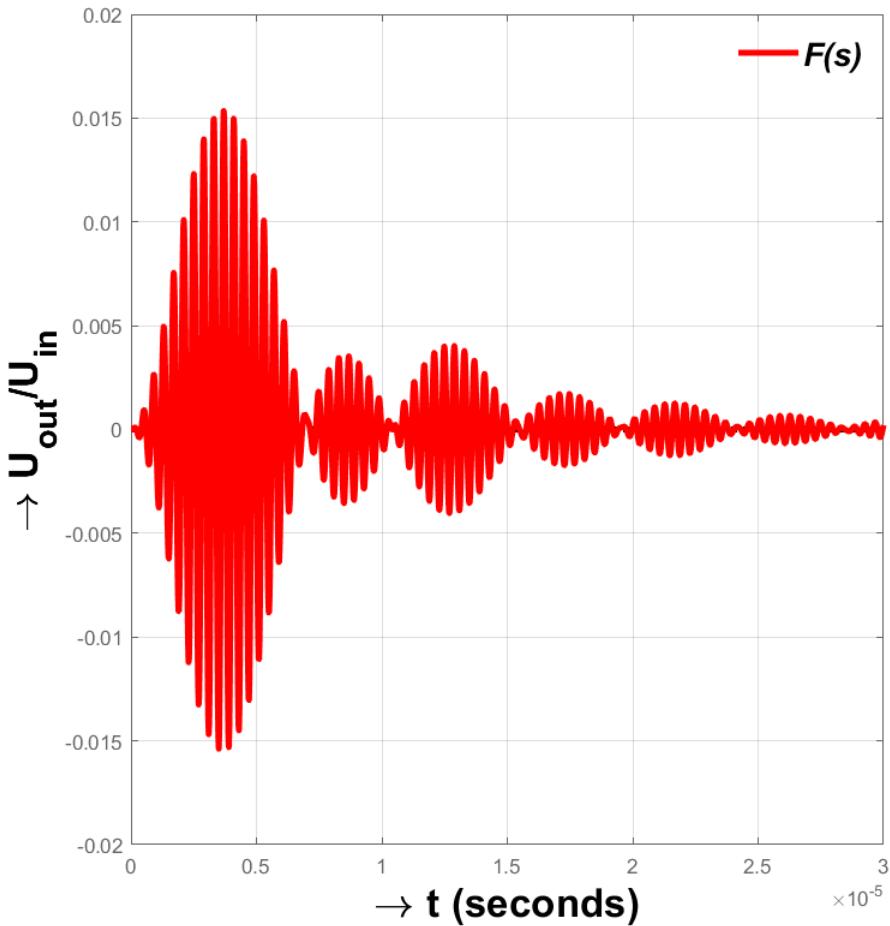
$$\dot{x}(t) = Ax(t) + bu(t) \longrightarrow$$

$$y(t) = c^T x(t) + du(t) \longrightarrow$$

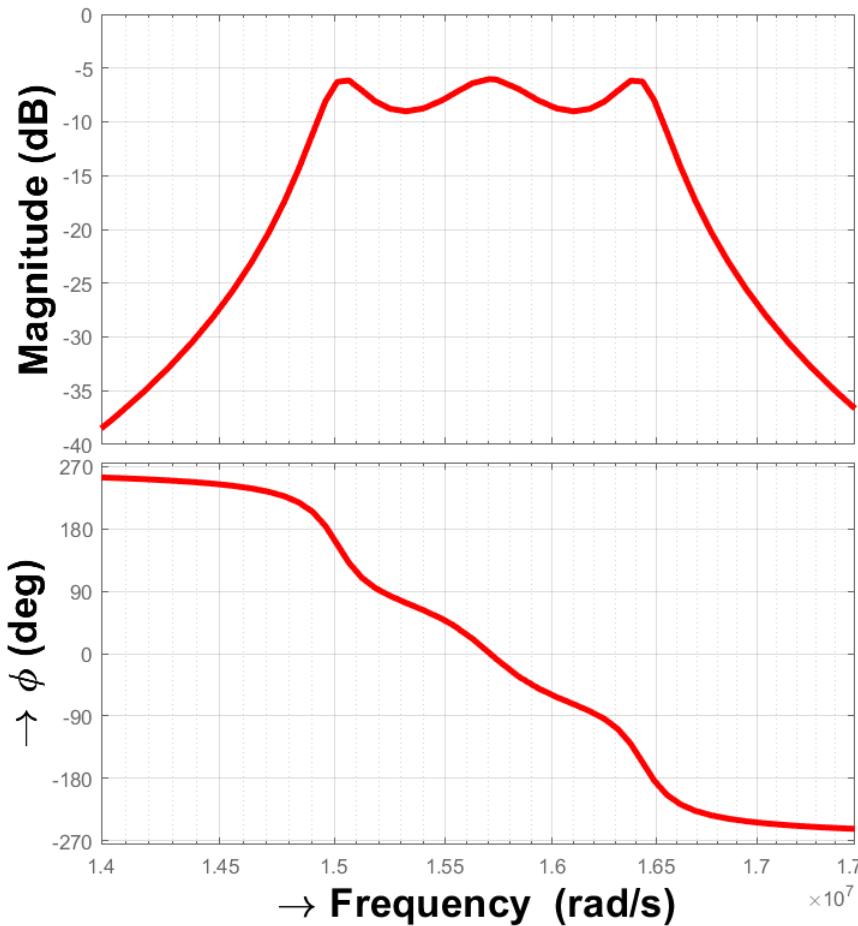
$$U_{RL} = [0 \quad 0 \quad R_{out} \quad 0 \quad 0 \quad 0] \cdot \begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \\ U_{C1} \\ U_{C2} \\ U_{C3} \end{bmatrix} + [0] \cdot U_i$$

Odozvý zo stavového popisu

Prechodová charakteristika

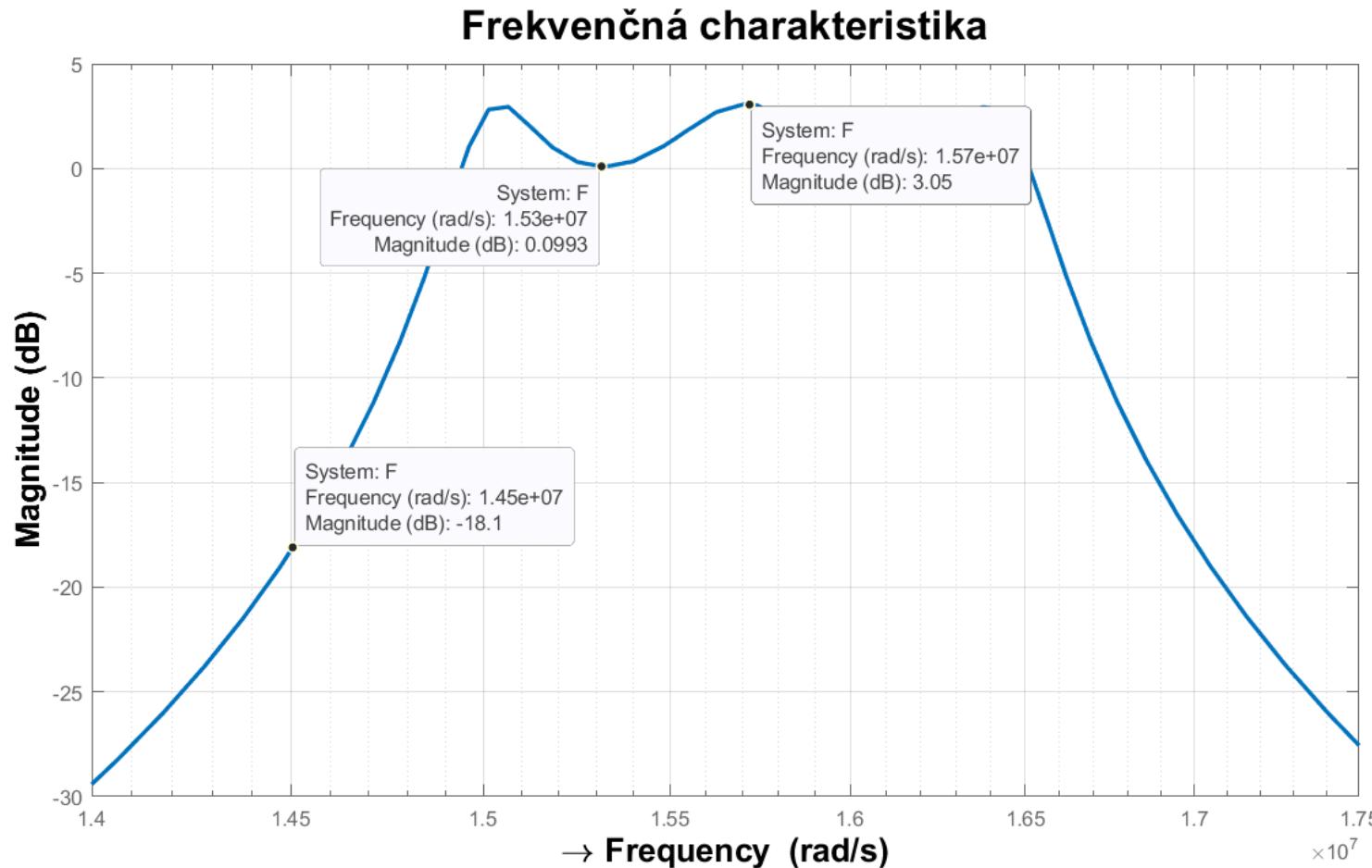


Frekvenčná charakteristika

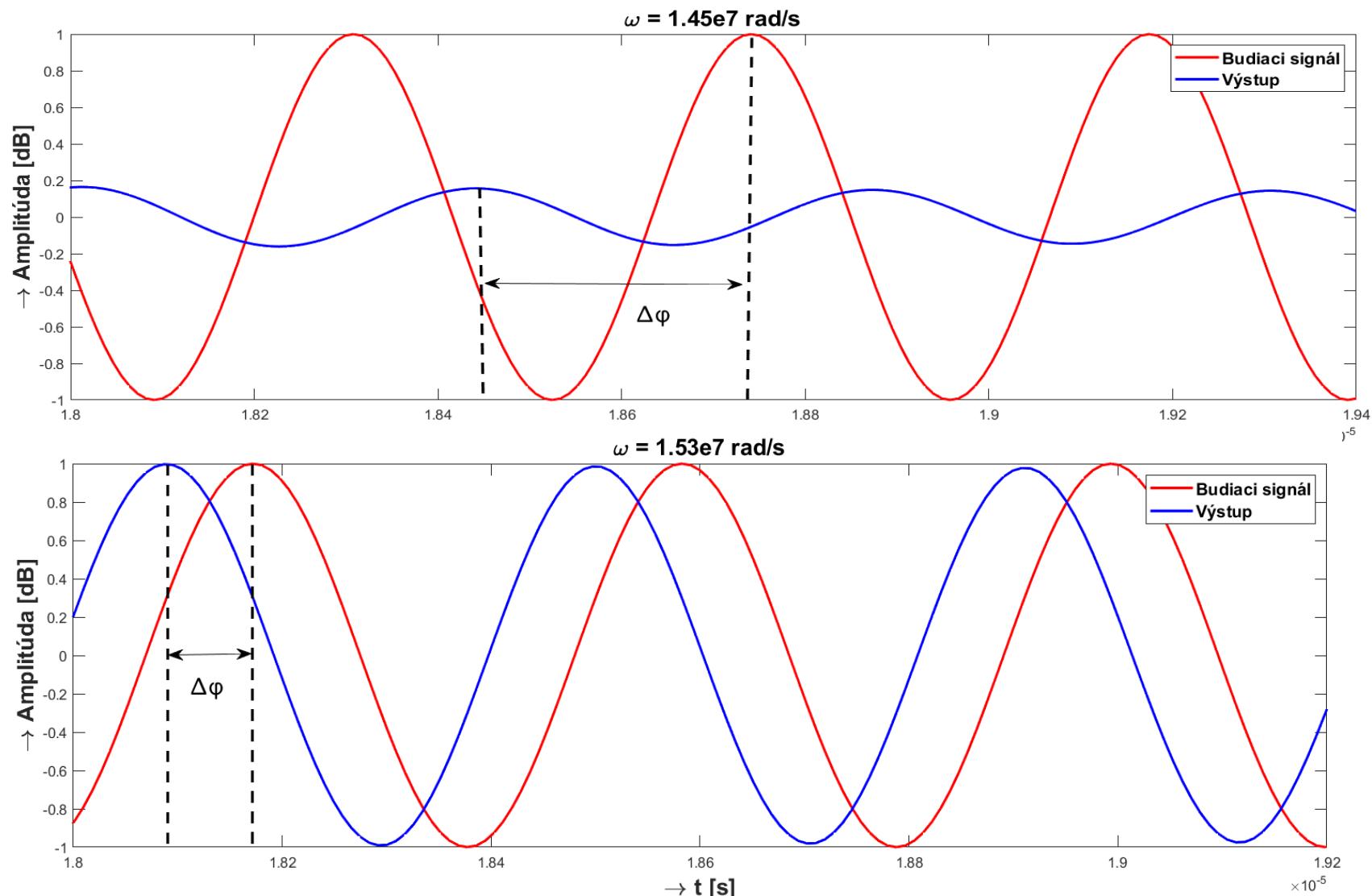


Odzvy systému na harmonický budiaci signál

- ☐ Výber frekvencie vstupného signálu:

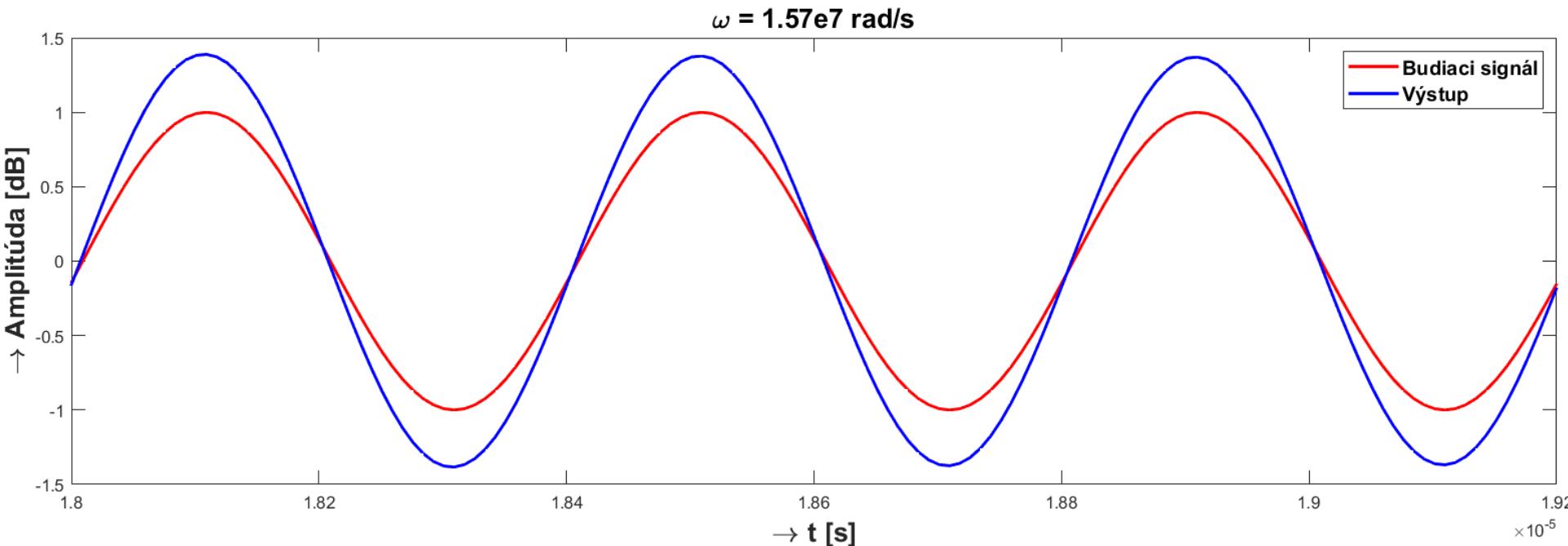


Odozvy systému na harmonický budiaci signál

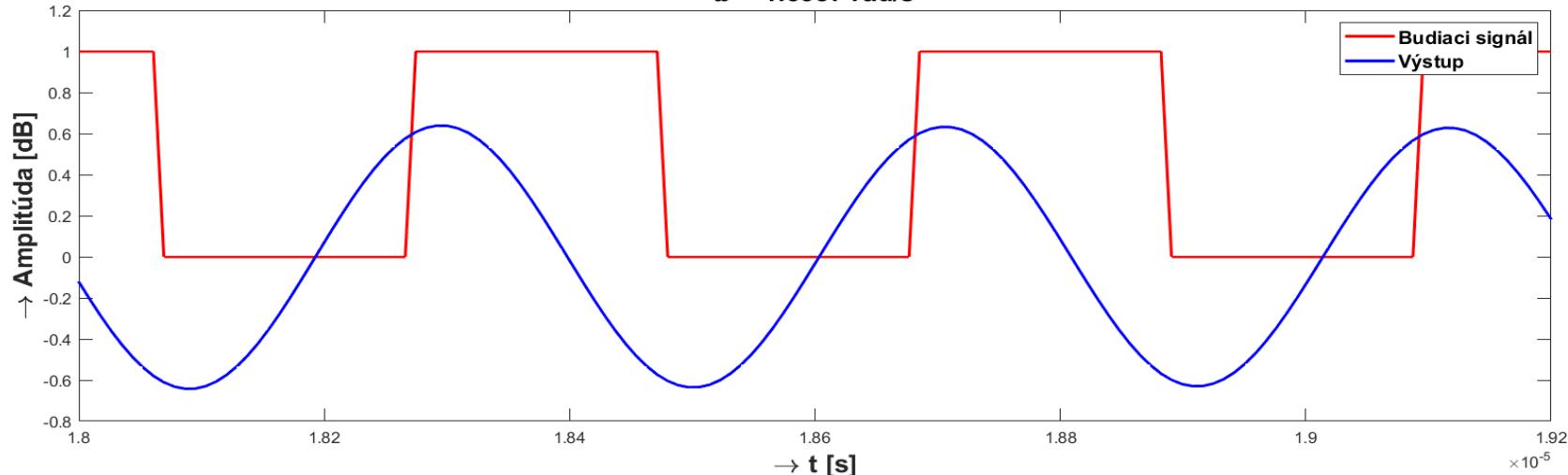
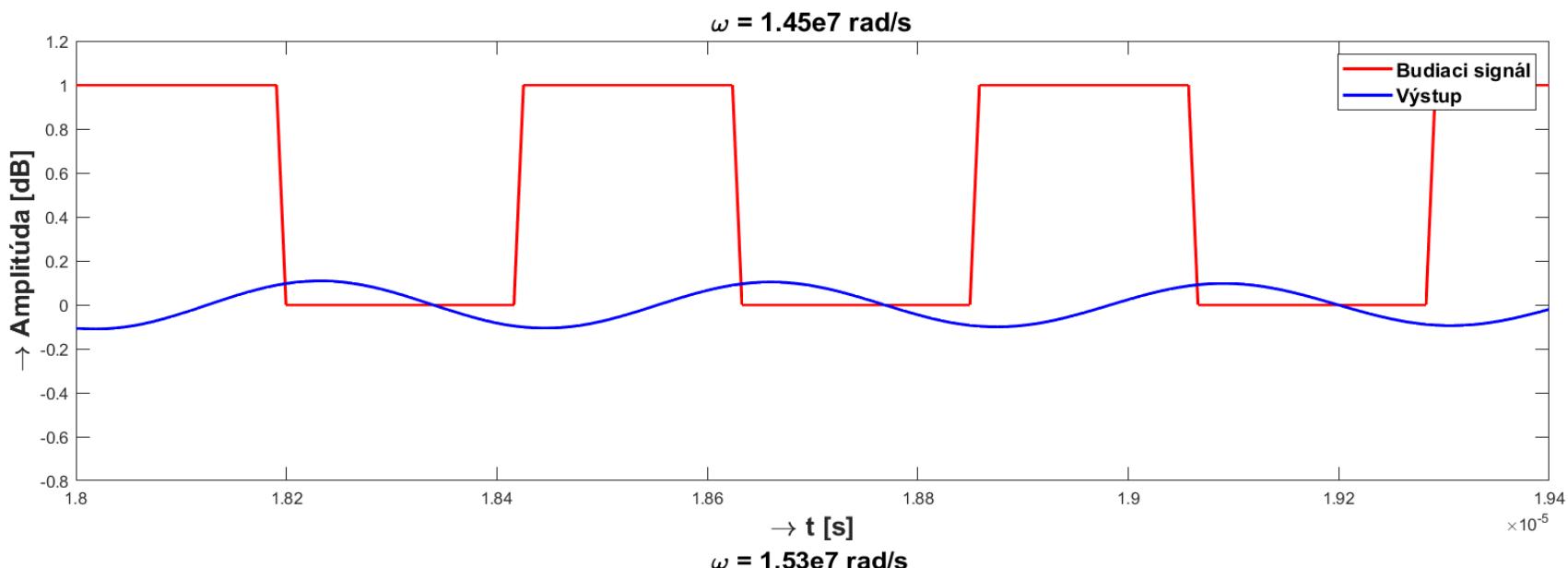


Odozvy systému na harmonický budiaci signál

- ☐ Rezonančna frekvencia

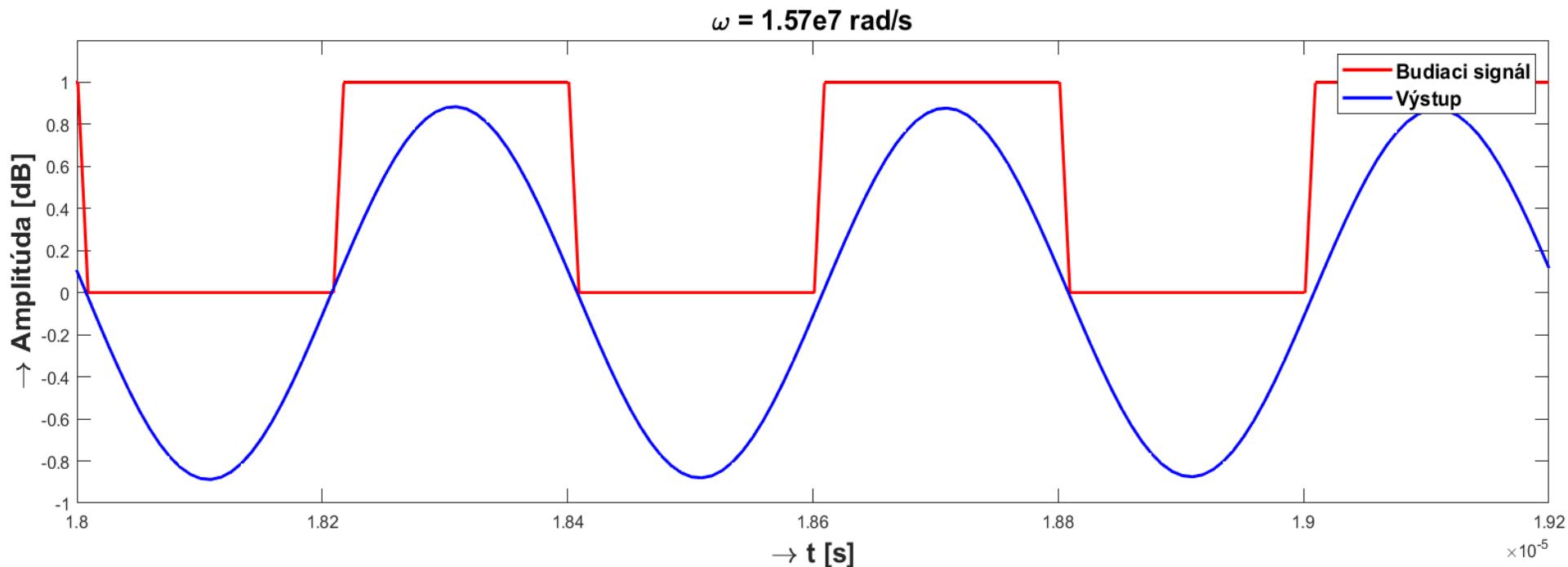


Odozva na obdĺžnikový signál



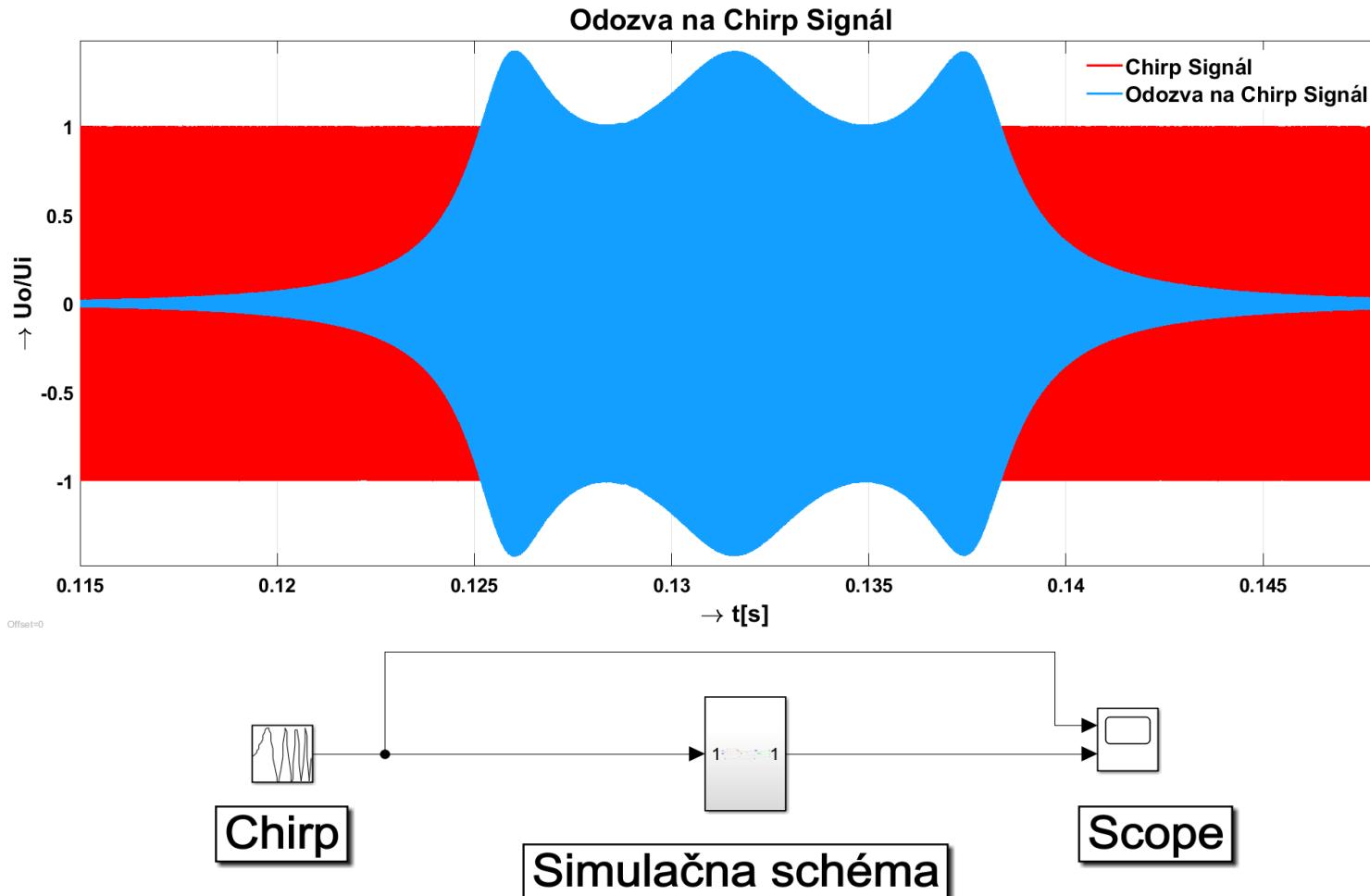
Odozva na obdĺžnikový signál

- ☐ Rezonančna frekvencia:

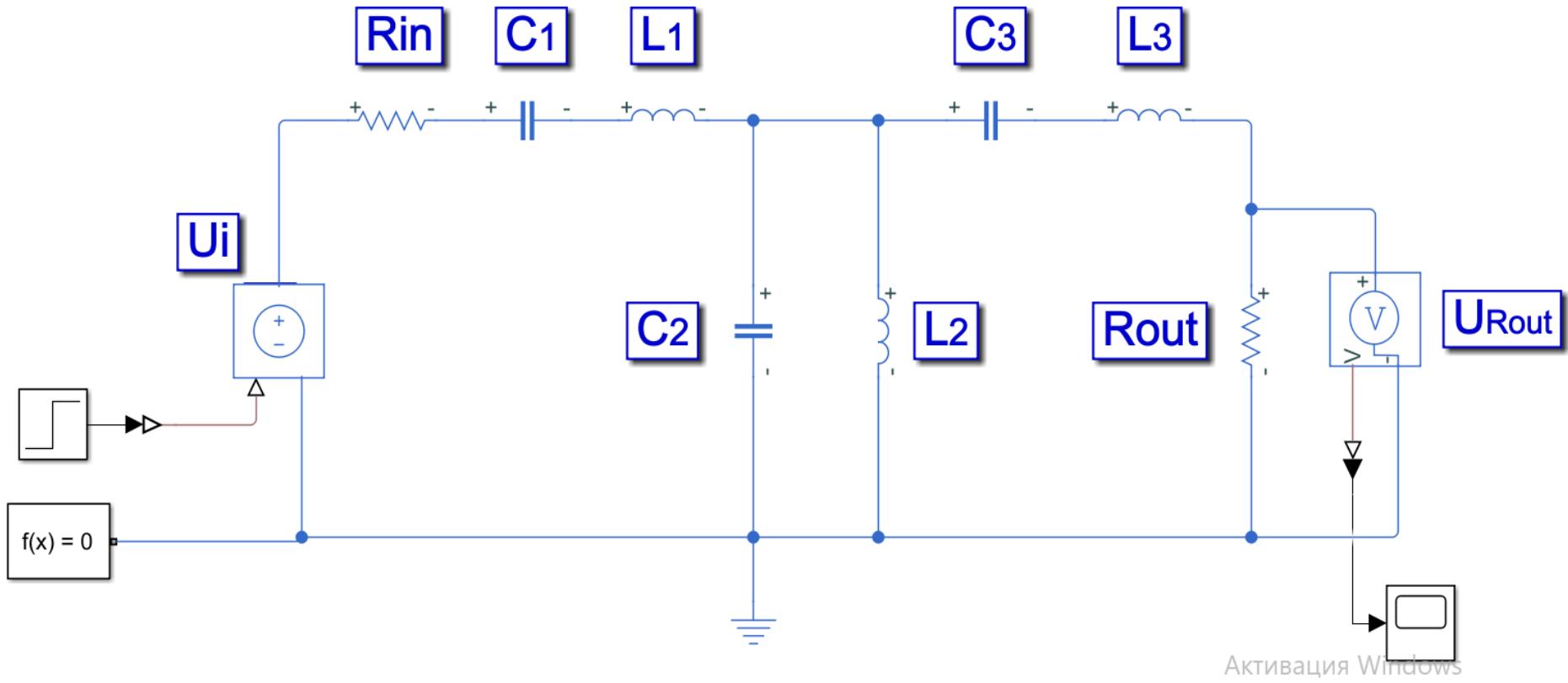


Odozvu obvodu na chirp signál

- Chirp signál - harmonický signál so zvyšujúcou sa frekvenciou



Model v Simscape

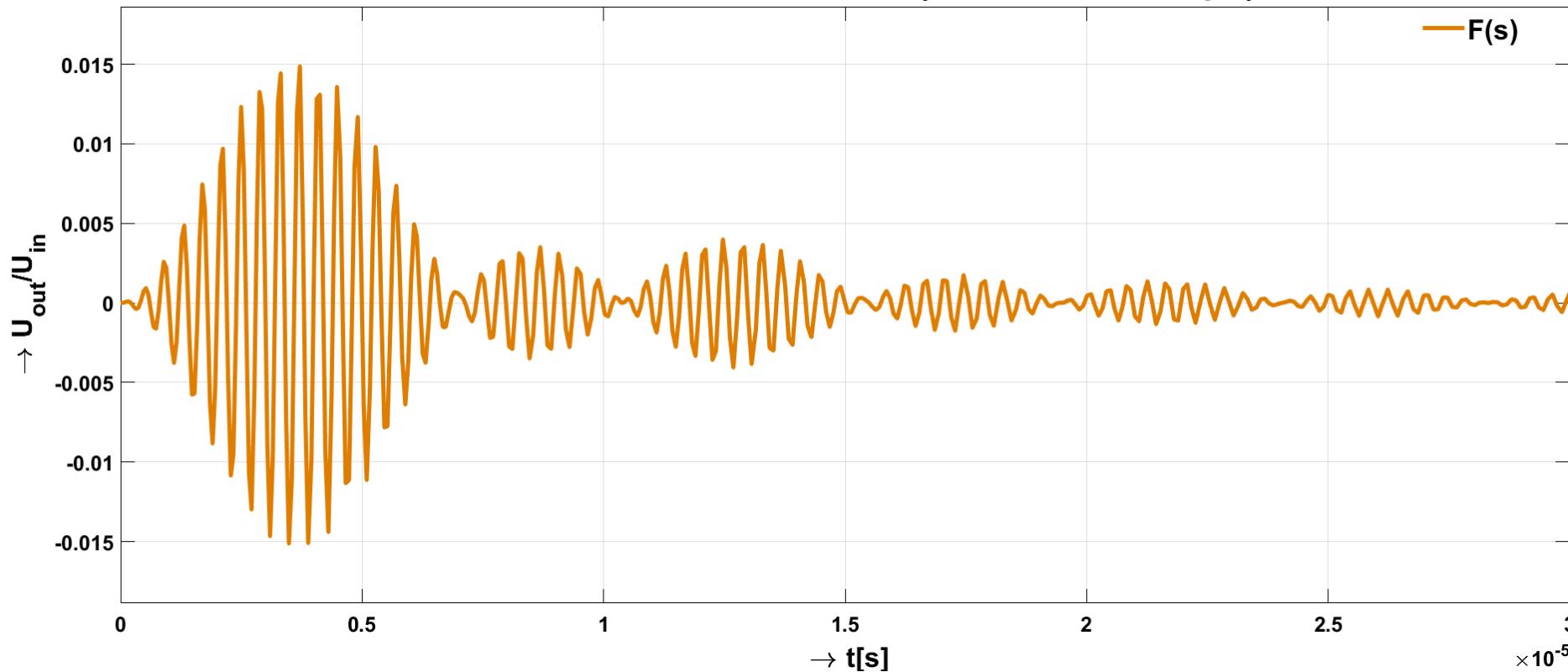


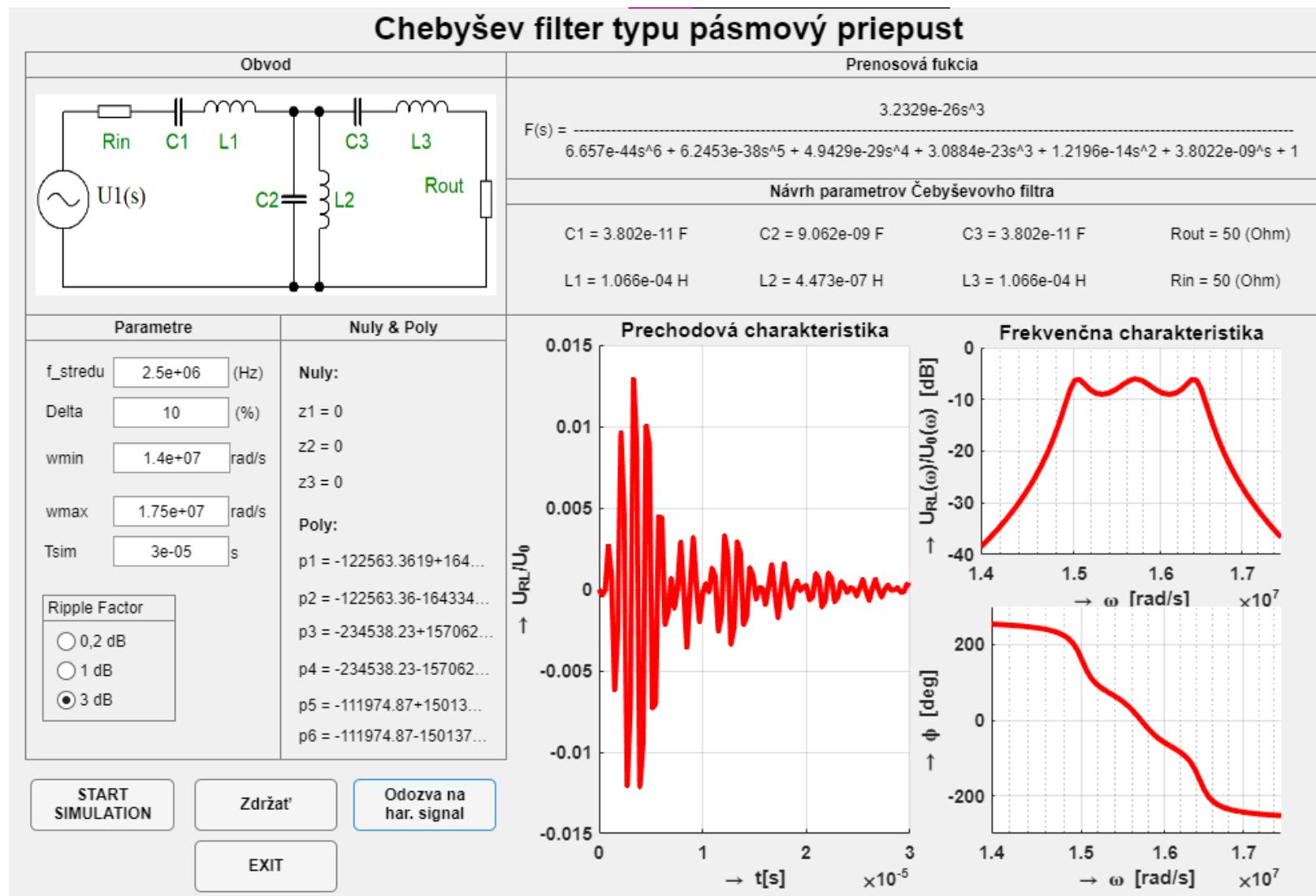
Активация Windows

Model v Simscape

- Priebeh PrCh elektrického obvodu

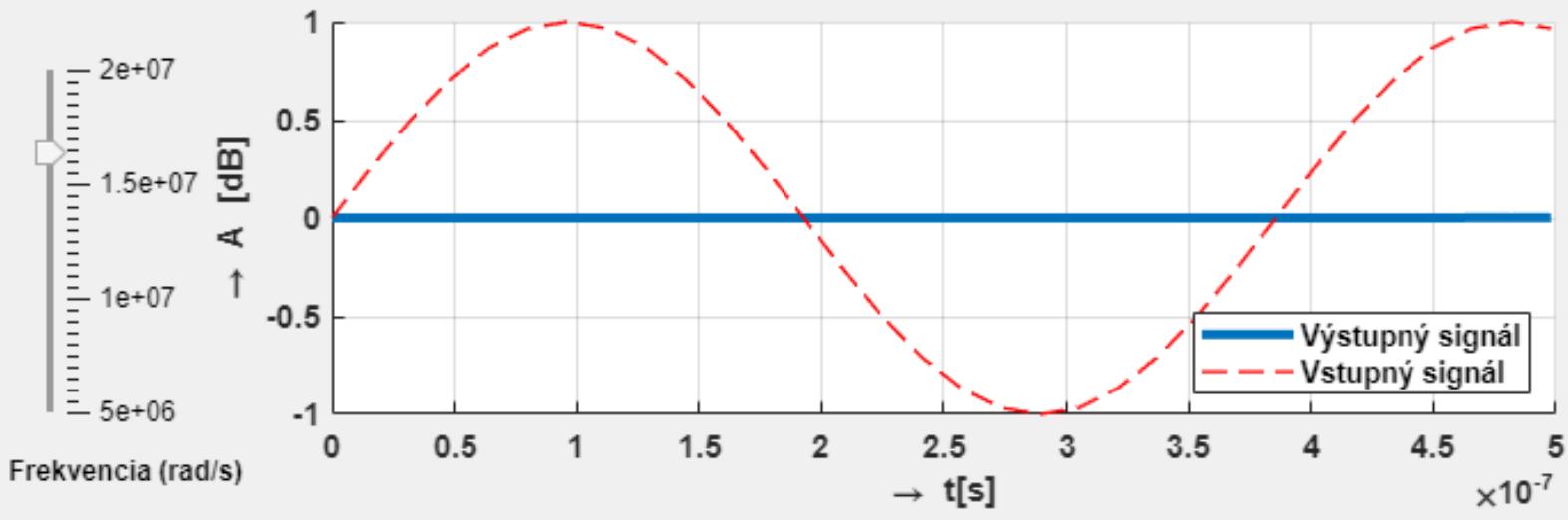
Prechodová charakteristika (model v Simscape)





Odozva systému na harmonický budiaci signál

Zmena frekvencie vstupného signálu	Parametre		
w <input type="text" value="1.63e+07"/> rad/s	F str <input type="text" value="2.5e+06"/>	Delt <input type="text" value="10"/>	
Ripple factor			
<input type="radio"/> 0.2 dB	<input type="radio"/> 1 dB	<input checked="" type="radio"/> 3 dB	
	<input type="button" value="START"/>	<input type="button" value="EXIT"/>	



Záver

- ✓ Naše ciele boli splnené;
- ✓ Pomocou matematických rovníc sme vysvetlili javy vyskytujúce sa v našom systéme;
- ✓ Boli zahrnuté programy Simscape, AppDesigner a ďalšie programy Matlab;
- ✓ Preskúmali sme nové metódy na simuláciu elektrických systémov a zvážili sme ich výhody a nevýhody;
- ✓ skúmalí odozvu nášho systému na harmonický vstupný signal;
- ✓ Pre náš systém sme vytvorili v Simscape analógový model, ktorý sa skladá z elektrických častí;
- ✓ Aby sme ukázali, ako náš systém funguje, vytvorili sme softvér, ktorý sa ľahko používa.

Ďakujeme za pozornosť!

Vadym Holysh, vadym.holysh@student.tuke.sk

Yevgenii Chernozub, yevgenii.chernozub@student.tuke.sk